

ACTA PHYSIOLOGICA SCANDINAVICA

VOL. 37. SUPPLEMENTUM 125.

*Aus dem Physiologischen Institut
der Universität Lund, Schweden*

DIE PUPILLOGRAPHIE UND DAS PUPILLOGRAMM

EINE METHODOLOGISCHE STUDIE

VON

PETER PETERSEN

LUND 1956

LUND 1956
HÅKAN OHLSSONS BOKTRYCKERI

Einle

Frühe

C

M

M

C

M

M

M

Die

c

M

Die

Z

M

C

M

A

Versu

V

S

M

M

M

M

M

Ergel

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

M

INHALT

<i>Einleitung</i>	5
<i>Frühere Methoden und Deutungen</i>	7
O. Löwenstein	10
H. Machmer	13
B. Matthes et al.	16
C. Cüppers	17
Kritische Bewertung der Filmmethode und der photoelektrischen Methode	18
Löwensteins letzte veröffentlichte Methode	20
<i>Die normalen Grundphänomene des Pupillenreflexes auf Licht und deren pathologische Abweichungen</i>	31
Die Pathologie der Pupillenbewegungen von methodologischem Standpunkt	39
<i>Die Apparatur und Methode des Verfassers</i>	40
Zwillingobjektiv	41
Photolicht	43
Grundbeleuchtung	45
Reizlicht	45
Aufnahme eines Pupillogrammes	47
<i>Versuche des Verfassers</i>	
Vorversuche	49
Standardschablone	50
Messfaktoren	51
Die Rolle der Adaptation	54
Die Rolle mässiger Variationen des Reizlichtes	55
Hauptversuche	56
Das Versuchsmaterial. Tab. 1	57
<i>Ergebnisse</i>	
Pupillenunruhe	59
Latenzzeit	60
Initialdiameter	61
Kontraktionszeit	64
Haltezeit	64
Amplitude	65
Restitutionszeit	66
Restitutionsrest	67
Anisokorie	69

Kontraktionsgeschwindigkeit	70
Dilatationsgeschwindigkeit	72
Reaktionsquotienten	75
Kontraktionsprozent (rel. Kontraktion)	77
Restitutionsprozent	79
Restitutionsdefizit	80
Individuelle Konstanz des Pupillogrammes	80
<i>Spezielle Belastungsversuche</i>	
Alkoholbelastung	84
Versuche mit Stickoxidul	85
Pupillogramme nach Schlafmitteleinnahme	87
Anoxieversuche	89
Konzentritätsdiagramme	92
<i>Spezielle Technik</i>	
Zwillingobjektiv	95
Spiegelviziervorrichtung	99
Infrarotfokussierung	100
Kopfhalter	103
Pupillendistanzeinstellen	104
Kamera und Fundament	105
Filmkamera und besondere Vorrichtungen	107
Zeitgeber. Zeitmarkierung. Blickfang	109
Das Reizlicht	111
Auslösung und Synchronkontakt	112
Die Robot-Apparatur	115
Konzentritätsdiagramme mit Robot	117
Die Infrarotbeleuchtung	119
Die Infrarotfilter und die Wärmefilter	120
Photometrierung	123
Die Messung von Zünd- und Löschzeiten	127
Entwicklung	129
Sondervorrichtungen für psychiatrische Fälle	130
Weitere Möglichkeiten	137
<i>Zusammenfassung</i>	138
<i>Literatur</i>	140

An
 Fach
 zinis
 liche
 stand
 lisch
 auf d
 Grun
 setzu
 führl
 einen
 schrie
 Die
 grenz
 suchs
 Norm
 gewis
 schen
 hat, e
 zu zi
 zu kö
 Den
 empfi
 Labor
 gerüst
 Feinm
 So ma
 u. a. d
 des fo
 bringe
 weiter

EINLEITUNG

An den schwedischen Universitäten fehlte bis vor kurzem das Fach medizinische Physik als selbständiger Bestandteil des medizinischen Unterrichts, ein Mangel, der seit einiger Zeit erfreulicherweise behoben worden ist. Diese Tatsache sowie der Umstand, dass die Interessen des Verfassers immer auf das physikalische und technische Gebiet der medizinischen Forschung und auf die technischen Hilfsmittel der Praxis gerichtet waren, ist der Grund dafür, dass diese Abhandlung eine methodologische Zielsetzung bekommen hat. Dieselbe Motivierung gilt für die ausführlichen Beschreibungen der entwickelten Methoden, die in einem besonderen Abschnitt »Spezielle Technik« eingehend beschrieben worden sind.

Die physikalische Einstellung der Arbeit hat auch zu einer Begrenzung des rein physiologischen Abschnittes geführt. Das Versuchsmaterial kann deshalb bezüglich des Umfanges nicht als ein Normalmaterial betrachtet werden. Diese Zurückhaltung bot sich gewissermassen durch die Umstände, weil der in einem theoretischen Institut arbeitende Forscher immer gewisse Schwierigkeiten hat, ein grösseres Menschenmaterial für die Untersuchung an sich zu ziehen und womöglich auch wiederholt darüber disponieren zu können.

Der Kliniker andererseits, wird seine Schwierigkeiten anders empfinden. Ihm fehlen die langen, ungestörten Arbeitsstunden im Laboratorium und die technischen Möglichkeiten eines gut ausgerüsteten physiologischen Instituts mit Elektronikwerkstatt und Feinmechanik, die für Neuentwicklungen beide notwendig sind. So mag es recht natürlich erscheinen, dass sich der Theoretiker u. a. darum bemüht, Methoden und Hilfsmittel für den Bedarf des forschenden Klinikers zu entwickeln und zu einiger Reife zu bringen, ohne bei der eigentlichen Anwendung auf Patienten weiter zu gehen als nötig scheint um die Brauchbarkeit der

Methode zu zeigen und einige wesentliche Richtlinien für das biologische Leistungsvermögen derselben zu geben. Vorliegende Arbeit ist ein Versuch in dieser Richtung. Sie war aus drei Gründen in der Abgrenzung schwierig.

Erstens ist das Studium des Pupillenreflexes und der Pupille schon seit über einem Jahrhundert beliebt. Es gibt daher sehr viele klinische Arbeiten, die nur indirekt durch Rücksichtnahme auf die zitierten Pupillenlehren beachtet werden konnten.

Zweitens sind ausserdem die nicht allzu zahlreichen Arbeiten, die die Pupillographie und pupillographische Methoden behandeln, verschiedenartig und im Wesentlichen nicht mit exakten physikalischen Ausgangspunkten durchgeführt. Auch diese sind hier nicht vollständig referiert und allseitig kritisiert worden, u. a. weil eine solche Stellungnahme einseitig wäre und an sich zu keinem fruchtbaren Endergebnis führen würde. Der Verfasser hat die Kritik auf solche Dinge, die eine Weiterentwicklung der Pupillographie motivieren oder beleuchten können, beschränkt.

Drittens und letztens musste die Schwierigkeit der neurologischen und ophthalmologischen Abgrenzung bewältigt werden. Der Verf. hat diese Frage in der Weise zu lösen versucht, dass er diese Gebiete nur kurz behandelt hat. Deshalb ist kein Pupillarreflexschema eingeführt, und es wird nicht auf krankhafte Zustände eingegangen. Solches Bestreben würde ein Verlassen der Zielsetzung dieser Arbeit bedeuten. Die Zurückhaltung ist also ein Ausdruck für eine Begrenzung der Aufgabe.

U
Lich
tiert
(850
welc
Heil
Aug
Lich
Dies
ins I
versi
medi
der I
man
exakt
Verän
Jahrh
die M
exper
den i
auch
wird
BEHR
Diagn
In
entwi
metrie
Als
NOFF

FRÜHERE METHODEN UND DEUTUNGEN.

FEHLERQUELLEN

Unsere Kenntnis von der Tatsache, dass sich die Pupille bei Lichteinfall kontrahiert und bei Herabsetzung des Lichtes dilatiert, ist reichlich 1000 Jahre alt. Der arabische Arzt AR-RAZI (850–923) beschreibt das Phänomen in seinem »Kitāb alhāwī«, welches eine Art Enzyklopädie oder Handbuch der gesamten Heilkunde ist. In dem zweiten Buche dieses Werkes, das dem Auge gewidmet ist, wird auch die Reaktion der Pupille auf Licht ausdrücklich geschildert (HIRSCHBERG; zit. GRAEFE-SÄMISCH). Dieses arabische Werk wurde schon im dreizehnten Jahrhundert ins Lateinische übersetzt und diente an den europäischen Universitäten noch im siebzehnten Jahrhundert als Unterlage des medizinischen Unterrichts. Infolgedessen war die Lichtreaktion der Pupille in Europa schon in einem Zeitalter bekannt, in dem man noch wenig geneigt war, sein Wissen durch Experimente oder exakte eigene Beobachtung zu vermehren. Die wahrnehmbaren Veränderungen der Pupillenreaktion verblieben daher durch viele Jahrhunderte ein Symptom von begrenztem Wert bis etwa um die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Um diese Zeit, in der experimentelle und beobachtende naturwissenschaftliche Methoden in die medizinische Wissenschaft eindringen, widmet man auch der Pupillenreaktion ein nicht unerhebliches Interesse. Dies wird besonders merkbar, nachdem ARGYLL-ROBERTSON (1869, zit. BEHR 1924) die Bedeutung der lichtstarrten Pupille für die Diagnose der Lues nachgewiesen hatte.

In den folgenden Jahrzehnten wurden allmählich Methoden entwickelt und Beobachtungen gemacht, die zuerst eine Pupillometrie und später auch eine Pupillographie ermöglichten.

Als erster auf dem Gebiete der Pupillographie soll BELLARMINOFF (1885) genannt werden. In seiner Arbeit »Anwendung der

graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegungen. Photocoreograph« beschreibt er eine photographische Apparatur für die Registrierung der Pupillenbewegung, die durch Licht oder sonstige Reizmittel ausgelöst wurde. Eine weitere wesentliche Verbesserung erfährt diese Methode durch GARTEN (1897), der ultraviolettes Licht verwendet und damit das Prinzip des nicht reizenden Photolichtes einführt. Beide Methoden benutzen ein lichtempfindliches Material (Bromsilberpapier), das sich kontinuierlich hinter einem Spalt bewegt. Die Pupille mit Irisumsäumung wird auf diesem Spalt so abgebildet, dass der grösste Durchmesser mit dem Spalt zusammenfällt. Abgebildet wird also ein zentrumsymmetrischer Pupillenstreifen von Spaltbreite an beiden Enden von der Iris begrenzt. Der wechselnde Durchmesser der Pupille wird als ein nicht exponiertes Band von verschiedener Breite wiedergegeben. Die Genauigkeit ist von der Spaltbreite, Lichtstärke und Filmgeschwindigkeit abhängig. Gleichzeitig mit dem Pupillogramm wird eine Zeitmarkierung geschrieben. In gewissen Fällen wird das von DU BOIS RAYMOND (zit. GARTEN) für Pupillenphotographie im Dunklen eingeführte Magnesiumblitzlicht verwendet. Dadurch erreicht GARTEN sowohl momentane Lichtreize von beträchtlicher Intensität wie auch ein Photolicht von genügender Stärke für die momentane Abbildung der Pupille in völliger Dunkelheit. Auch elektrische Miniaturglühlampen und der elektrische Entladungsfunken werden als Hilfsmittel für abgestufte Lichtreize herangezogen. Es ist diese Arbeit somit für ihre Zeit recht fortschrittlich und bezüglich der Technik weit getrieben. Die Resultate sind trotzdem nicht bedeutend, was wohl teilweise auf die grossen technischen Schwierigkeiten zurückgeführt werden kann. Die Methode war nur an Menschen mit hellblauen Augen durchzuführen und auch da reichte das Licht eben für auswertbare Bilder. Ferner war die Einstellung der Versuchsperson schwierig, sowohl in Hinblick auf die richtige Lage des Pupillenbildes über dem Spalt als auch betreffs exakter Schärfereinstellung.

Beobachtet wurde eine Latenzzeit zwischen Lichtreiz und Pupillenantwort von knapp einer halben Sekunde, und ein Pupillendurchmesser im Dunklen von etwa 7,5 mm. Ausserdem wurde die Abhängigkeit der Kontraktionsgrösse bei Lichtreiz von dem

Akk
wer
D
un
min
und
eine
anat
bew
klini
geste
Bew
refle
über
gewi
Zug
dure
den.
De
dure
Meth
Mom
laub
der P
GART
dure
ultrav
Dunk
Die I
völlig
dure
auf M
nisse
dern
elektr
Chron
und b
Die P

Akkommodationszustand der Netzhaut festgestellt. Garten hat nur wenige Versuche in dieser seiner einzigen Arbeit veröffentlicht.

Das Interesse für die Pupille und die Pupillenbewegungen war um die Jahrhundertwende sehr rege. Die Ergebnisse wurden in mindestens zwei Monographien zusammengefasst: BUMKE 1904 und BACH 1908. Die Monographie von BUMKE erschien später in einer zweiten Ausgabe (1911). In diesen Büchern werden die anatomischen und neurologischen Unterlagen für die Pupillenbewegungen geschildert und dem damals überaus reichlichen klinischen und physiologischen Beobachtungsmaterial gegenübergestellt. Der Mangel an objektiven Methoden für das Studium der Bewegungsdynamik und des zeitlichen Ablaufes des Pupillenreflexes ist offenbar. Das Feld erscheint gross und ist schwer zu überblicken. Die Meinungsverschiedenheiten sind zahlreich. Man gewinnt den Eindruck, dass das grosse Interesse mehr durch die Zugänglichkeit der Pupille für Beobachtung bedingt war, als durch berechnete Erwartung aufschlussreiche Symptome zu finden.

Der nächste deutliche Fortschritt in der Pupillographie kommt durch WEILER (1910). Er entwickelt eine pupillometrische Methode, die ausserdem die Herstellung von photographischen Momentbildern mit der Frequenz von etwa 10 pro Sekunde erlaubte. Seine Bilder und Messungen sind, dank der Entwicklung der Phototechnik und der Kinematographie, wesentlich besser als GARTENS. Er bestimmt die Latenzzeit für die Lichtreaktion zu durchschnittlich 0,20 Sek. Dagegen ist er nicht imstande, mit ultraviolettem Licht zu photographieren, und kann also nicht die Dunkeldilatation der Pupille nach einem Lichtreiz untersuchen. Die Kontraktionszeit der Iris von Anfang der Bewegung bis zu völliger Kontraktion des Sphinkters beträgt nach seinen Angaben durchschnittlich 0,67 Sek. Weilers Bestimmungen beziehen sich auf Messungen an 23 gesunden Versuchspersonen. Die Ergebnisse sind allerdings nicht mit Kinematographie gewonnen, sondern durch direkte Beobachtung unter Zuhilfenahme von einem elektrischen Tasthebel und einem Chronoskop. Lichtreiz und Chronoskop werden gleichzeitig durch den Tasthebel ausgelöst und beim Loslassen des Hebels steht das Chronoskop sofort still. Die Reaktionszeit des Untersuchers wird vorher bestimmt und

berücksichtigt. Es sieht also aus, als ob die kinematographische Methode noch ein zu umständliches und unsicheres Hilfsmittel gewesen ist, um auf ein grösseres Untersuchungsmaterial regelmässig verwendet werden zu können. WEILERS Arbeit umfasst etwa 170 Seiten und ist im Wesentlichen als eine Lehre von den Pupillenbewegungen und den damaligen Untersuchungsmethoden für die Pupille anzusehen. Die wesentliche Literatur wird angeführt.

Vierzehn Jahre später (1924) erscheint die Arbeit von CARL BEHR: Die Lehre von den Pupillenbewegungen. Die Technik der Pupillographie hat seit WEILER keinen wesentlichen Fortschritt gemacht, abgesehen davon, dass O. LÖWENSTEIN die kinematographische Methode zu verwenden begann. BEHR bringt ein Literaturverzeichnis mit ca. 1600 Arbeiten von 1840 bis 1920, das sowohl die methodologische als die klinische Literatur umfasst. Diese Literatur ist sehr umfassend, besonders nach 1900, wo jährlich etwa fünfzig Arbeiten über die Pupille und die Pupillenbewegung erscheinen. Behrs Arbeit ist die eines neurologisch eingestellten Ophthalmologen. Er zeichnet den damaligen Stand der Lehre von den Pupillenbewegungen und beschreibt die bekannten Untersuchungsmethoden. Die verschiedenen Auffassungen von den Pupillenreflexbahnen werden geschildert, und der Verfasser bringt sein eigenes Schema darüber, gestützt auf die klinische Pathologie.

In dem Gebiet der Pupillographie dominieren OTTO LÖWENSTEINS Veröffentlichungen (1920 bis 1955). LÖWENSTEIN benutzt die kinematographische Methode für die Registrierung. Beide Augen werden gleichzeitig auf einem normalbreiten Kinofilm abgebildet. Dies bedeutet eine Skala von etwa 1:4. Die Bilder werden nachher vergrössert projiziert und der Pupillendurchmesser Bild für Bild gemessen. Die Zahl der Bilder pro Sekunde ist bekannt, und LÖWENSTEIN hat die Werte in ein Koordinatensystem eingeführt, die Durchmesserwerte als Ordinaten auf der Zeitabszisse. Die dadurch entstandene Kurve wird ein Pupillogramm genannt. L.s Arbeiten, die auch einige grössere Monographien umfassen, decken einen Zeitraum von etwa 35 Jahren und spiegeln die technische Entwicklung dieser Epoche wieder.

Die anfängliche Apparatur bestand aus einer Standard-Film-

B.
zen

kan
Aug
Stu
rich
zum
vorr
Reiz
lige
eine
kon
Kym
die
Zeitr
Die
tung
geste
moto
photo
Photo
über
verwe
In
zur F

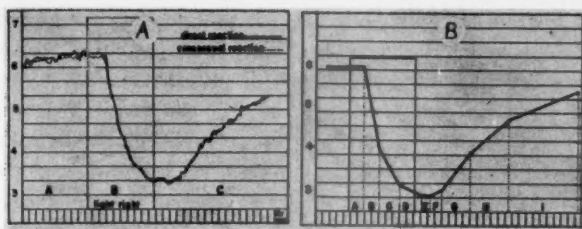


Fig. 1.

A. Pupillogramm gemäss Löwenstein.

B. Löwensteins schematische Einteilung der Kurve. Aus: Löwenstein, Die zentralnervösen Faktoren in der Genese des acuten Glaucoma simplex; Monatsschr. f. Psychiatr. u. Neurol. 1949, 117, S. 296.

kamera für 35 mm Film, die mit 8–10 Bildern pro Sekunde beide Augen der Versuchsperson abbildete. Diese sass dabei auf einem Stuhl mit fixiertem Kopf. Der Stuhl lief auf Schienen um die richtige Entfernung einzustellen, und war mit einem Zahngetriebe zum Verändern der Höhe versehen. Die Kamera trug eine Vizionsvorrichtung, an der eingestellt werden konnte. Vorrichtungen zur Reizung eines oder beider Augen und zwar durch parallelstrahlendes Licht (Glühlampe mit Linse) unter Zwischenschaltung von einem Kameraschliessers, wo die Reizzeiten eingestellt werden konnten, waren vorhanden. Ausserdem enthielt die Apparatur ein Kymographion, das synchron mit der Kamera lief und auf dem die Zeit und die verschiedenen Reize geschrieben wurden. Die Zeitmarkierung wurde synchron auch auf den Film aufgenommen. Die Methode hierfür wird nicht beschrieben. Als Photobeleuchtung verwendet L. blauviolette Licht, durch Filtrierung hergestellt und von beträchtlicher Intensität aber optisch und pupillomotorisch verhältnismässig wenig wirksam. Da solches Licht photographisch recht aktiv ist, gelang ihm die Herstellung von Photogrammen sowohl über den Pupillenreflex auf Licht als auch über die Erweiterungskurve nach Aufhören des Reizlichtes. Er verwendete Reize von 0,5 und 1 Sek. Dauer.

In dieser ursprünglichen Apparatur gehören auch Vorrichtungen zur Registrierung der Muskelspannung (Gummiballons an den

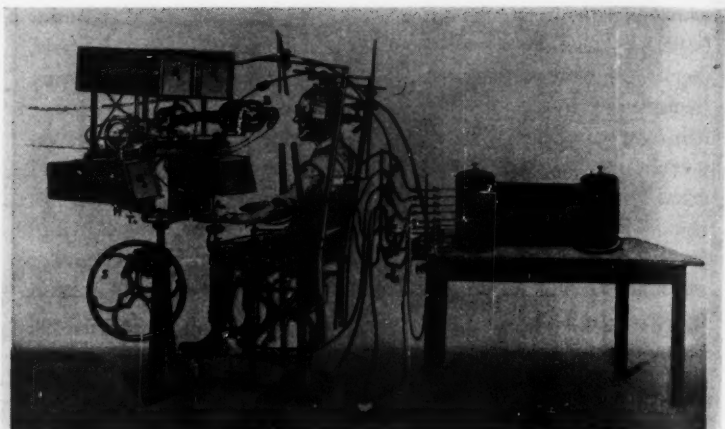


Fig. 2.

Löwensteins erste Apparatur. Ausser der pupillographischen Apparatur sieht man Druckkapseln in Berührung mit der Muskulatur der Gliedmassen und durch Marey-Tambouren auf ein Kymographion schreibend. Zwischen der Versuchsperson und dem Filmapparat ist eine Wand mit einer Öffnung für die Kamera. Die Wand wurde der Übersichtlichkeit halber im Bilde nicht mitgenommen. Aus: Löwenstein, Über die Variationsbreite des Lichtreflexes u. der Psychoreflexe; Arch. f. Psychiatr. 1927, 82 S. 285.

Extremitäten in Verbindung mit MAREY-Kapseln) mit zu den Möglichkeiten. Diese sind aus einem früheren Arbeitsgebiet (LÖWENSTEIN, Hysterielehre, Bonn 1923) mitgenommen worden. Ihr Wert für die Pupillenuntersuchung scheint gering gewesen zu sein.

LÖWENSTEIN hat später (1933) eine besondere Vorrichtung beschrieben, die das Registrieren der gefundenen Werte gleichzeitig mit dem Ausmessen gestattet.

Die Löwensteinsche pupillographische Apparatur (Fig. 2) war recht kompliziert. Für die Aufstellung brauchte er zwei Zimmer, um Patienten und Apparat mit Rücksicht auf Geräusch und andere Störungen von einander zu isolieren. Aufgenommen wurde durch ein Fenster in der Zwischenwand. Es ist verständlich, dass diese komplizierte Methode nicht Nachfolger gefunden hat, zu mindesten nicht in der von L. angegebenen Ausführung. Die Methode

war
frei
die
Kri
ma
fah
Jah
gen
fäll
Z
For
fach
pho
50—
dad
fest
stim
höre
Phot
Löw
er b
Bilde
Tiefe
die
Lösu
gibt
her C
beton
weist
in ih
häufi
M.
zuver
legun
Löwe
Mitte
Zusan
zweif

war ausserdem technisch in verschiedener Hinsicht nicht einwandfrei. Das Gleiche gilt für L:s Resultate und die Schlussfolgerungen, die er daraus zieht. Es soll aber hervorgehoben werden, dass die Kritik seiner vielen Arbeiten schwierig und kaum möglich ist, ehe man selbst durch längeres Arbeiten mit der Pupillographie Erfahrungen gesammelt hat. Der jetzige Verfasser hat sich über zwei Jahre ausschliesslich dieser Aufgabe gewidmet und meint jetzt ein genügendes Tatsachenmaterial zu besitzen, um gewisse Urteile zu fällen.

Zuerst sei aber Kritik aus den Veröffentlichungen anderer Forscher zitiert. MACHMER (1933, 1935, 1941) führt die Vereinfachung ein, dass er 16 mm. Film verwendet und nur ein Auge photographiert. Dabei treibt er die nutzbare Bildfrequenz bis auf 50–60 pro Sekunde (in Ausnahmefällen sogar 80). Es wird ihm dadurch möglich, recht genau die Form der Pupillenkontraktion festzulegen und auch die Latenzzeit der Reaktion exakt zu bestimmen. Dagegen ist er nicht imstande, die Dilatation nach Aufhören des Lichtreizes zu verfolgen, da bei ihm Reizlicht und Photolicht eins sind. Mit Recht hebt MACHMER hervor, dass LÖWENSTEIN eine ungünstige relative Bildschärfe bekommt, wenn er beide Augen auf einem Filmstreifen gleichzeitig abbildet. Die Bilder können nur relativ klein ausfallen (etwa 1:4) und da die Tiefenschärfe des lichtstarken Teleobjektives gering ist, bietet die Schärfeeinstellung ein Problem, das keine befriedigende Lösung gefunden hat. (MACHMER 1933). In einer späteren Arbeit gibt M. (1935) einen kurzen historischen Überblick über das vorher Geleistete. Ohne dabei eine kritische Analyse durchzuführen, betont er die Verschiedenheit der Untersuchungsergebnisse und weist darauf hin, dass andere Autoren und vor allen LÖWENSTEIN in ihren Angaben die Fehlergrenze der angewandten Methode häufig bei weitem überschritten haben.

M. hat von vorneherein seine Aufgabe auf die Schaffung einer zuverlässigen wenn auch begrenzten Methode und die Festlegung grundlegender Tatsachen beschränkt. Er ist kritisch gegen LÖWENSTEIN'S und WESTPHAL'S Behauptung, dass die Latenzzeit im Mittel nur 0,06 Sek. betrage und individuell ohne erkennbaren Zusammenhang mit dem Reflexablauf wechseln solle. M. ist ferner zweifelnd der Methode gegenüber, ohne konkret die vermeint-

lichen Fehler anzugeben. Mit eigener, sorgfältig unterbauter Methodik findet er für die Latenzzeit durchschnittlich 0,21–0,22 Sek. und betrachtet diese Zeit als annähernd konstant. In einer späteren Arbeit (1941) bestimmt MACHMER die Latenzzeit auf einem grösseren Material – wie gross wird nicht angegeben, aber 31 Versuche werden angeführt – und bei verschiedenen Adaptationszuständen. Er findet dabei Werte zwischen 0,200 und 0,225 Sek. Obwohl MACHMERS Methode nicht die von ihm behauptete Genauigkeit besitzt (s. u.: Allgemeine technische Kritik), kann man diese Werte als korrekt ansehen. Ein Mangel ist die Kleinheit des Materials bei der Untersuchung von verschiedenen Altersgruppen und Geschlechtern. Deswegen kommt die normale Variation der Latenzzeit nicht voll zum Ausdruck.

Leider besitzen wir nur wenige Arbeiten von M:s Hand. Die letzte ist »Über die sogenannte Preliminärerweiterung der Pupille beim Lichtreflex«. Machmer zeigt, dass dieses Phänomen nicht konstant, und sein Vorkommen nur scheinbar ist. Es zeigt sich wenn eine positive Welle der normalen Pupillenunruhe gerade vor der Kontraktion auf einem Lichtreiz kommt. Machmers Arbeit, die kritisch und exakt ist, begrenzt sich streng auf das gestellte Problem. Er geht daher nicht auf die Bedeutung der normalen Pupillenunruhe für die Bestimmung der Latenzzeit ein. Wir werden später auf diese Frage zurückkommen. Es ist zu bedauern, dass die pupillographische Arbeit von M. nicht weitergeführt worden ist. In seiner letzten Veröffentlichung deutet er seine Bemühungen an, Synchronaufnahmen von beiden Augen (zwei Kameras gekuppelt) zu machen. Eine Veröffentlichung von seiner Hand ist aber nach 1941 nicht zu finden. Da die Bemühungen des Verfassers gewissermassen dort anfangen, wo MACHMER aufgehört hat, sind für ihn seine Arbeiten von besonderem Interesse. M. arbeitet physikalisch korrekt und gibt in seinen technischen Darstellungen genug Einzelheiten an, um eine Beurteilung und Wiederholung der Versuche zu erlauben.

Ausser MACHMER und LÖWENSTEIN haben nur GRAEDEL und ACKERMANN (1932) einen nennenswerten Beitrag zu der kinemato-graphischen Pupillographie geliefert. Ihre Arbeit ist nicht sehr umfassend. Gemessen wurde mit einer Schmalfilmmethode die Latenzzeit für die Lichtreaktion bei einer Gruppe von Studenten.

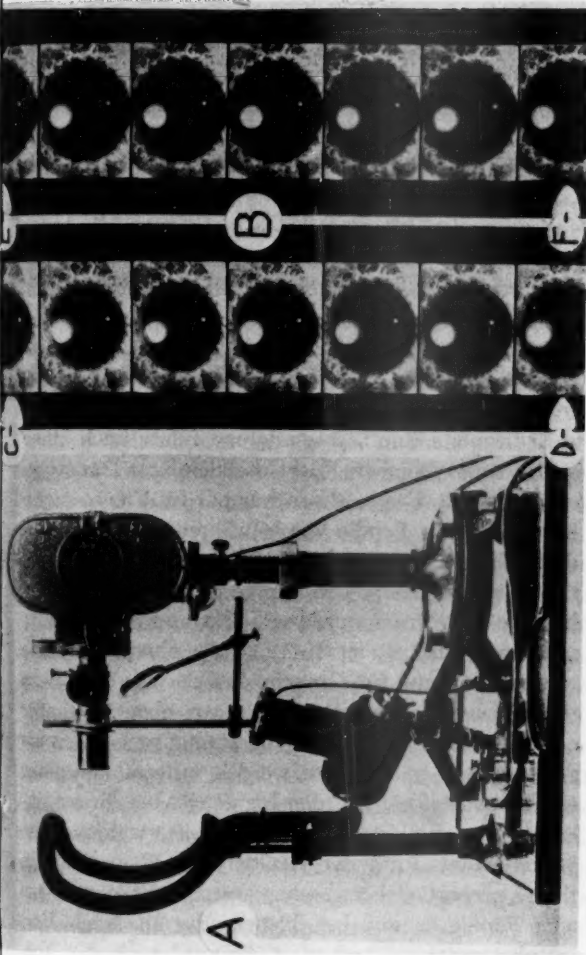


Fig. 3.

A. Machners Apparat, Aus: Machner, Beiträge zur Physiologie u. Pathologie der Pupille; Monatsschr. f. Augenheilk. 1933, 91, S. 306.

B. Zwei Filme mit der obigen Apparat aufgenommen. Man sieht deutlich, dass die Strecke C-D zwischen den Zeitmarken kürzer ist als die Strecke E-F in dem rechten Film. Die Zeitmarke C zeigt Bewegungsunschärfe und ist verbreitert. Siehe Näheres im Text. Aus: Machner, Beiträge zur Physiologie u. Pathologie der Pupille; Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1941, 106 S. 392-393 Tafel IV.

Gefunden wurde 0,25 Sek. Gleichförmige Bedingungen bei der Aufnahme sind nicht genügend beachtet worden und eine Adaptationszeit von nur 3 Min. benutzt. Unbefugt ist GRAEDEL & ACKERMANN'S Angabe der Latenzzeit bis auf den vierten Dezimal (zehntausendstel Sekunde). Eine solche formelle Genauigkeit steht in klarem Widerspruch zu den Fehlergrenzen der Methode. Diese sind zwei bis drei hundertstel Sekunden. Die zwei letzten Dezimale in den angeführten Zeiten sind also ohne Wert.

Es findet sich endlich eine kleine Gruppe von Autoren, die gesondert referiert werden sollen, weil sich diese gegen die kinematographische Methode überhaupt kritisch stellen und eine andere Methode verwenden. Begonnen wurde diese Linie durch C. MALTHESOS (1936, 1939) und fortgesetzt von B. MATTHES und Mitarbeitern (1941). Weiter modifiziert wurde sie später durch C. CÜPPERS (1951 u. 1954).

MALTHESOS führte die Photozelle als Hilfsmittel bei der Registrierung ein. Er benutzte eine Lichtsonde und führte nach einer kleinen Inzision dem Augennnern Licht diaskleral zu. Das Auge war durch Suturen fixiert. Die Methode war nur für Tierversuche brauchbar. Die leuchtende Pupille wurde während der Reaktion als leuchtende Fläche wechselnder Grösse auf der Photozelle abgebildet. Der Photostrom wechselte demzufolge proportional mit der Pupillenfläche. Der Photostrom wurde verstärkt und registriert.

Bei MATTHES und Mitarbeitern (1941) ist die photoelektrische Registrierung verbessert und für klinische Zwecke am Menschen brauchbar gemacht worden. Infrarotes Licht von eben sichtbarer Intensität und Wellenlänge beleuchtet gleichförmig sowohl Iris als Pupille von aussen. Iris und Pupille werden infrarot auf einer Infrarotphotozelle abgebildet. Da die Iris (auch bei Braunpigmentierung) ein guter Reflektor von Infrarot ist, während die Pupille kaum reflektiert, kann der resultierende Photozellstrom als der Irisfläche proportional angesehen werden. Er nimmt bei kontrahierender Pupille zu und bei dilatierender ab. Nach Verstärkung wird photographisch registriert. Es wird auch der Ausweg versucht ein streifenförmiges Lichtbündel zu verwenden, das diametral in die Horizontalebene über der Iris-Pupille projiziert wird. Der Streifen ist schwach sichtbar und kann also korrekt eingestellt werden. Die Photozelle gibt, infolge dieser Beleuch-

tun
tion
mes
eine
Pup
aber
Die
betr
10
nich
fund
Verö
diese
0,20-
Kriti
ange
et al
gege
schlie
verm
regist
teil, d
des V
zweif
Cüpp
Cüpp
darau
Weise
lichte
Vortei
zweife
Behau
überha
der Ve
geben
Wen
menfas
sind vo

tungsform einen Strom, der dem Pupillendurchmesser proportional ist. Die absolute Grösse der verschiedenen Pupillendurchmesser kann jedoch nicht festgestellt werden, auch besteht weder eine ganz konstante noch eine lineare Proportionalität zwischen Pupillendurchmesser und reflektiertem Licht. Die Methode kann aber Grössenänderungen in deren zeitlichem Ablauf registrieren. Die damit festgelegten Werte für die Latenzzeit des Lichtreflexes betragen 0,25–0,30 Sek. Da die Filmgeschwindigkeit aber nur 10 mm/Sek. betrug, ist die mögliche Genauigkeit der Methode nicht voll ausgenutzt worden. Die Werte bestätigen nicht die Befunde von LÖWENSTEIN in seinen Arbeiten 1926–1933. In späteren Veröffentlichungen (1940, 1942, 1944, 1949) gibt LÖWENSTEIN diese Zeiten zuerst mit 0,18–0,20 (1940) und später (1942) mit 0,20–0,28, ohne seine veränderte Auffassung zu begründen. Die Kritik von MATTHES scheint also von LÖWENSTEIN als berechtigt angesehen worden zu sein. Im übrigen ist die Arbeit von MATTHES et al. wesentlich mit der eigenen Methode beschäftigt und richtet gegen LÖWENSTEIN keine sonderliche Kritik. — C. CÜPPERS (1951) schliesslich bringt eine photoelektrische Methode mit Infrarot, die vermittelt des s. g. Lichtpunktschreibers von HARTMAN u. BRAUN registriert und direkt schreibend ist. Er gewinnt dadurch den Vorteil, dass er seine Kurve und die Reihen von Reaktionen während des Versuches beobachten und danach sofort auswerten kann, was zweifellos sehr wertvoll ist. In einer späteren Arbeit benutzt CÜPPERS eine Leica-Methode die diesen Vorteil nicht besitzt. CÜPPERS benutzt zerhacktes Licht von etwa 500 Hz und einen darauf scharf abgestimmten Wechselstromverstärker. Auf diese Weise gelingt es ihm, das System unempfindlich für die Reizlichter und sonstige Lichtschwankungen zu machen, was ein Vorteil ist. CÜPPERS polemisiert stark gegen LÖWENSTEIN und bezweifelt in mancher Hinsicht seine Resultate, in erster Linie die Behauptung, dass der Pupillenreflex »ermüdbar« sei. CÜPPERS hält überhaupt die kinematographische Methode für ungeeignet, weil der Verlauf der Pupillenbewegung nicht kontinuierlich wiedergegeben wird.

Wenn wir die bisherigen Methoden der Pupillographie zusammenfassend betrachten, finden wir also folgendes. Drei Methoden sind vorhanden, die geeignet erscheinen:

1. Die photoelektrische diasklerale Methode nach MALTHESOS.
2. Die kinematographische Methode.
3. Die photoelektrische Methode für reflektiertes Infrarotlicht nach MATTHES und CÜPPERS.

Methode 1. ist für Tierversuche unter Umständen gut aber fällt für klinische Zwecke aus, weil sie nicht unblutig ist und Narkose verlangt.

Bleiben also Methode 2. *die Kinematographie* und 3. *die photoelektrische Methode* für reflektiertes Infrarotlicht. Wir werden jetzt diese beiden Methoden kritisch untersuchen, soweit dieselben veröffentlicht sind, und dann die prinzipiellen Möglichkeiten erklären, die zu der eigenen Methode geführt haben.

KRITISCHE BEWERTUNG DER METHODEN 2 UND 3

Vergleicht man diese beiden Methoden, die kinematographische und die photoelektrische, miteinander, so ist man zuerst geneigt, die direktanschreibende photoelektrische Technik als überlegen zu bewerten. In der Tat besitzt diese Methode unbestreitbare Vorteile. Das Pupillogramm ist für die Beurteilung sofort fertig und kann, falls nötig, ohne sonderliche Mühe wiederholt aufgenommen werden. Die Anwendung von multiplen Reizen sowie das Studium von Konstanz des Pupillendurchmessers über etwas längere Zeiträume schafft keine wesentliche Mehrarbeit. Dies ist bei der kinematographischen Methode anders. Das Aufnehmen einer Versuchsserie — zum Beispiel mit dreissig Reizen (LÖWENSTEIN hat bis zu hundert benutzt!) — bedeutet eine beträchtliche Filmlänge und je nach der Frequenz etwa 1500 bis 3000 Bildpaare, die ausgemessen werden müssen, um die Pupillogramme zeichnen zu können, also eine sehr erhebliche Arbeit. Der Film kann ausserdem nicht beurteilt werden, bevor er entwickelt und trocken ist. Wenn trotzdem die Filmmethode als Grundlage für die vorliegende Arbeit gewählt worden ist, so liegt das daran, dass die photoelektrische Methode gewisse Begrenzungen hat, die kaum überwunden werden können. Wie erwähnt, ist dieselbe nicht quantitativ. Ausserdem gibt sie von der Form der Pupille keine

Auffassung — ob unrund oder exzentrisch — und es ist nicht immer möglich zwischen Augenbewegung und Irisbewegung zu unterscheiden. Die Auswertung einer Kurve bietet daher unter Umständen die Möglichkeit zu wesentlichen Trugschlüssen. Wegen der Unmöglichkeit die Form der Pupille zu registrieren kann die Konzentrität der Kontraktion nebst ihren Störungen mit der photoelektrischen Methode in ihrer jetzigen Ausführung nicht studiert werden. Diese ist bis jetzt überhaupt als eine indirekte Methode zu betrachten, deren Zuverlässigkeit nur durch Vergleich mit der exakt durchgeführten Kinematographie bestimmt werden kann. Technisch bestehen grosse Schwierigkeiten, dieselbe weiter zu entwickeln, um die erwähnten Mängel zu beseitigen. Diese Entwicklungsarbeit wäre recht kostspielig. Sie kann daher kaum Aufmerksamkeit verdienen, ehe man mit einer anderen Methode gezeigt hat, dass eine solche Aufgabe der Mühe und Kosten wert ist. Man muss ausserdem darüber klar sein, dass auch die Medizin von heute nur selten die Möglichkeiten besitzt, ihre neuen physikalischen Hilfsmittel selbst entwickeln zu können. Die komplexen und darum in der Herstellung recht schwierigen registrierenden photoelektrischen Methoden sind bisher in engster Anlehnung an gut ausgerüsteten Produzenten wie HARTMAN & BRAUN oder LEITZ entwickelt worden.

Es scheint daher am angebrachtesten zuerst die kinematographische Methode so weit zu entwickeln, dass genügend grundlegende Tatsachen ermittelt werden können um daraus denn zu schliessen, was die Pupillographie zu leisten vermag. Erst dann wäre die Zeit reif für ein Aufteilen des Gebietes zwischen den beiden Methoden und eine Abschätzung davon, inwiefern eine Weiterentwicklung der photoelektrischen Methode motiviert erscheint. Die bisher veröffentlichten kinematographischen Methoden sind nur zwei, namentlich LÖWENSTEINS binokulare Methode auf 35 mm Film und MACHMERS monokulare auf 16 mm Film.

Wenn wir zunächst LÖWENSTEINS Methode beurteilen, kann dies nur unter Beachtung der letzten Arbeiten geschehen, denn offenbar müssen viele von den früheren Darstellungen jetzt überholt sein.

Die letzte Veröffentlichung über die pupillographische Methodik und die Lage der Pupillographie stammt aus 1942. In späteren

Arbeiten (1949–55) berichtet er über weitere wesentliche Verbesserungen betreffend Film (Kodak supersensitive infrared) und Analyseverfahren (Maschinenanalyse und Direktregistrierung des fertigen Pupillogrammes) aber ohne Einzelheiten anzugeben, die das Wesentliche schildern und eine Wiederholung ermöglichen. Diese Andeutungen können deshalb nicht berücksichtigt werden.

1942 besteht L:s Ausrüstung für Pupillographie (s. Fig. 4) — nach seiner eigenen Beschreibung in »The neurologic department of New York University College of medicine« gebaut — aus einem schalldichten Kasten, worin sich der Kinoapparat befindet. Derselbe wird von einem Motor getrieben, der sich gleichfalls in einem schalldichten Kasten befindet. Weitere Einzelheiten werden nicht mitgeteilt. Der Patient sitzt auf einem Stuhl mit seinem Kopf gegen eine Kopfstütze, das Kinn auf einer Kinnstütze ruhend und seine Augen vor der Linse der Kamera, wo gleichzeitig die Bewegungen der beiden Pupillen registriert werden. — Die synchrone Pupillarregistrierung auf demselben Filmstreifen wird ausdrücklich als wertvoll hervorgehoben.

Das Reizlicht wird aus zwei kleinen rohrförmigen Scheinwerfern durch punktförmige Niedervoltlampen mit Kondensorlinsen erzeugt. Ein Kompuverschluss erlaubt die Einstellung einer bestimmten Reizzeit. Die Auslösung hat Motorantrieb, so dass eine Anzahl von regelmässigen Reizen derselben Dauer gegeben werden können. Auch das Reizintervall kann innerhalb der Grenzen von 1, 2, 3, 5 oder mehreren Sekunden variiert werden. Die beiden Reizlichter können das rechte oder das linke Auge unabhängig voneinander oder auch beide gleichzeitig beleuchten. Die Intensität kann verändert werden wie die Dauer und andere Reize, wie z. B. ein Knall, ein Nadelstich oder dergleichen können gleichzeitig ausgelöst werden. Die Dauer von Licht- oder anderen Reizen wird auf einem synchron mit der Kamera (Antrieb gemeinsam) verlaufenden Kymographen registriert. Da werden auch Zeitmarken ($\frac{1}{5}$ Sek.) geschrieben, welche gleichzeitig auf dem Film als Lichtmarken registriert werden. Ein kleiner und nicht reizender Lichtfleck von geringer Intensität wird in einem Spiegel reflektiert und dient als Augenmarke während der Registrierung. Der Stuhl läuft auf Schienen, sodass der Abstand eingestellt werden kann. Die Höhe kann auch eingestellt werden.

Löwe
lichun
Eine
nötig.

Da
zu kö
Als
Schei
recht

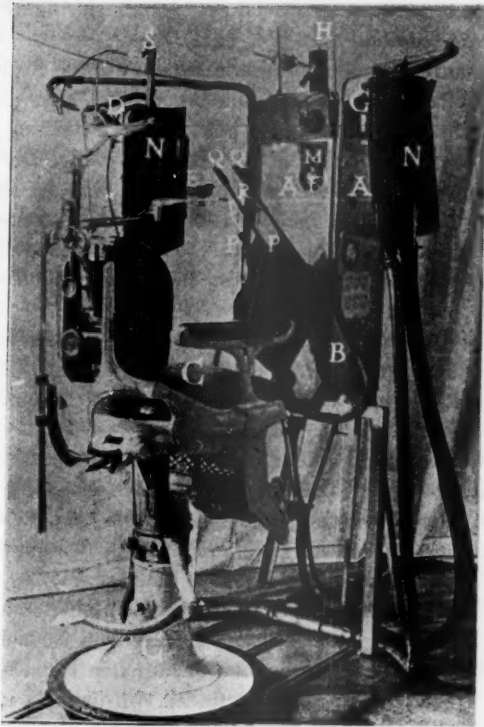


Fig. 4.

Löwensteins pupillographische Ausrüstung gemäss seiner letzten Veröffentlichung. Die Kamera befindet sich in einem schalldichten Kasten (A, B). Eine Scheidewand zwischen Versuchsperson und Kamera ist deshalb nicht nötig. Aus: O. Löwenstein & E. D. Friedman, *Pupillographic studies*; *Arch. ophtalm. N. Y.* 1942, 27 S. 972.

Das Problem mit einem nicht stimulierenden Photolicht arbeiten zu können ist durch die Verwendung von Infrarot gelöst worden. Als Infrarotstrahler dienen zwei kleine Infrarotreflektoren von Scheinwerfermodell sowie auch zwei seitliche Lichtkasten mit recht grossen Glühbirnen. Beide Anordnungen sind durch Infra-

rotfilter abgeblendet, welche auch gegen andersfarbige Filtra ausgetauscht werden können.

Ferner benutzt L. besondere Lampen, die wie die Reizlichter so im Verhältnis zu einem Schirm angebracht sind, dass jedes Auge nur eine Lampe sehen kann. Zur beiderseitigen Reizung sind also zwei Lampen, zur einseitigen nur eine notwendig. Diese besonderen Reize werden verwendet um das von L. als »Reflex für Dunkelheit« bezeichnete Phänomen zu studieren. Es werden damit die Augen bis zur vollen Adaptation (18 Min.) beleuchtet. Danach werden mit Hilfe des Motorunterbrechers kurze Dunkelperioden als Reiz eingeführt.

Für die Untersuchung der Reaktion auf Konvergenz und Akkommodation wird ausser dem unendlich fernen Punkte in dem Spiegel ein naheliegendes Objekt als Richtpunkt für die Augen verwendet.

Vor dem Patienten befinden sich eine Anzahl nicht leuchtender kleiner Infrarotbirnen. Diese arbeiten gleichzeitig mit den verschiedenen Stimuli (Licht, Schmerz, Schreck, Dunkelheit etc.), und sollen durch Mitphotographieren der Birnen im Film eine objektive, direkte Kontrolle der Dauer und Anbringung der Reize erlauben. Die Einzelheiten sind nicht beschrieben und die tatsächliche Art der Funktion bis zum Endergebnis ist nicht geschildert. Weitere Aufschlüsse über die technischen Einzelheiten sind in dieser Arbeit von L. nicht zu finden. Im übrigen referiert L. betreffs Einzelheiten zu seinen zahlreichen früheren Arbeiten. Darüber hinaus gibt er eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der klinischen Pupillographie, so wie dieselben sich nach seiner Erfahrung und Deutung gestalten. Hierzu soll später Stellung genommen werden.

Die Löwensteinsche Technik deckt ein grosses — man möchte behaupten allzu grosses — Gebiet von verschiedenen Versuchsbedingungen. Eine gewisse Breite in der Auslegung der Kritik und deren Motivierung ist daher unerlässlich.

1. *Die Bildfrequenz.* CÜPPERS (1951) hat prinzipielle Bedenken, einen kontinuierlichen Verlauf diskontinuierlich aufzuzeichnen. Der Verfasser kann die Ansicht von CÜPPERS, das eine kontinuierliche Registrierung notwendig sei, nicht teilen. Die Kontinuität ist nicht entscheidend, und eine direktschreibende photoelektrische

M
sei
frü
we
ein
Fo
sta
die
film
erre
wie
bzw
bild
ang
ans
Die
Zuv
D
förm
zug
früh
Art
STEI
von
gese
der
D
aber
Die
und
Die
wird
älter
FRAN
vier

1
Diagr
über

Methode birgt eine Reihe von Verzerrungsmöglichkeiten. Andererseits lässt sich nicht bestreiten, dass die Frequenz in fast allen früheren Arbeiten von L. mit 10–12 pro Sek. eine zu niedrige gewesen ist. Der Verlauf der Kurve des Pupillogramms ist daher nicht eindeutig genug bestimmt, um die Schlüsse, die L. bezüglich der Form und Formveränderungen daraus zieht, mit Sicherheit zu gestatten. Erst in einer späten Arbeit (1949) erwähnt L. (S. 295), dass die Apparatur mit dem neuen hochempfindlichen Kodak Infrarotfilm Geschwindigkeiten bis auf 50 oder sogar 100 Bilder pro Minute erreichen kann. Er geht jedoch auf solche wesentliche Einzelheiten wie Filtertypus, Beleuchtungsstärke und -art oder Wärmewirkung bzw. Sichtbarkeit des Infrarotlichtes nicht ein. In seinem Typenbild 1949 (S. 11, Fig. 1) ist die Frequenz 50 Bilder pro Sekunde angegeben. Im übrigen sind die reproduzierten Pupillogramme anscheinend mit einer niedrigen Frequenz aufgenommen worden. Die benutzte Frequenz – so wesentlich für die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Kurven – ist nie angegeben.

Der Verlauf der Kurven ist dessen ungeachtet immer wellenförmig gezeichnet, als ob eine dichtliegende Reihe von Punkten zugrunde läge. Man findet diese Art der Darstellung auch in den früheren Arbeiten, in denen die höheren Frequenzen wegen der Art der Beleuchtung tatsächlich nicht erreichbar waren. LÖWENSTEINS Ergebnisse aus den früheren Arbeiten mit einer Latenzzeit von durchschnittlich nur 0,06 Sek. und einer beträchtlichen, nicht gesetzgebundenen Variabilität dürften teilweise den Mängeln bei der Aufstellung der Kurven zuzuschreiben sein.

Das Photolicht ist als infrarot bezeichnet. Leider vermisst man aber eine Angabe über den Filtertypus und dessen Extinktion.¹ Die Grösse der Birnen sowie der nähere Aufbau der Lichtkasten und der Reflektoren und die Lichtdichte sind nicht angegeben. Die Frage der Wärmewirkung und Filtrierung bzw. Kühlung wird nicht berührt. Wenn man nach den Referenzen auf die älteren Arbeiten zurückgeht, findet man, dass er (1933) und FRANCESCHETTI u. BOROSOTTI (1940) die Angabe machen, dass vier Lampen zu 500 Watt mit Überspannung in den Lichtkasten

¹ In einer Arbeit aus 1955: »Pupillary Reflex Shapes and Topical Clinical Diagnosis«, *Neurology* 1955, Vol. 5, Nr 9 S. 632, findet sich eine Angabe über Filtertypus u. Birne.

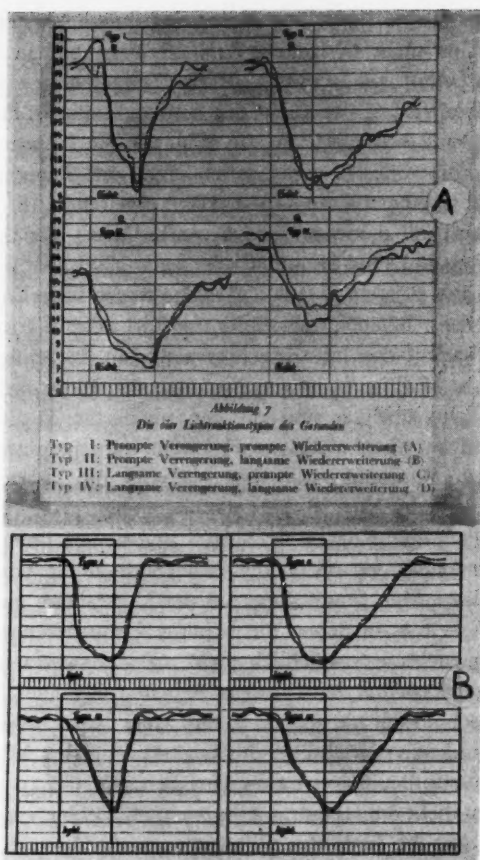


Fig. 5.

A. Die vier Lichtreaktionstypen als Originalpupillogramme. Das Zeichnen der Kurven mit weichen abgerundeten Wellen scheint dem Verf. unrichtig zu sein, da die Aufnahme Frequenz nur etwa 10–12 pro Sek. betrug. Die Frequenz ist nicht bei den Kurven angegeben, sondern in der Beschreibung der Methode nur allgemein erwähnt. Aus: Löwenstein, Die Störungen des Lichtreflexes etc., Bonn 1935, S. 26.

B. Die vier Lichtreaktionstypen schematisch umgezeichnet. Diese Kurven zeigen alle eine volle Restitution des Pupillendurchmessers innerhalb 3 Sekunden. Dies ist nach den Erfahrungen des Verfassers nicht die Regel. Aus: Löwenstein u. Friedman, Pupillographic studies; Arch. Ophthalm. N. Y. 1942, 27 S. 975.

benutzt wurden. F., der nach L:s Normen und auch mit ihm zusammen gearbeitet hat, bestätigt, dass mit 10 Bildern pro Sekunde gearbeitet worden ist, und macht geltend, dass diese Frequenz »beweislich hoch genug sei«. Er polemisiert ferner gegen MACHMER und dessen »skrupulöse Genauigkeit« sowohl in Bezug auf Schwierigkeiten betreffs der Bildschärfe als auch der Schärfentiefe der Teleoptik, deren Realität er bestreitet.

2. *Die Reizlichter.* Wir erinnern uns, dass solche sowohl für Lichtreiz (Momentbeleuchtung) wie für Dunkelreiz (kontinuierliche Beleuchtung mit kurzer Dunkelpause) in L:s Apparatur vorhanden sind. Es fehlen aber quantitative Angaben über die Lichtstärke und Lichtdichte und deren Veränderung, wenn die Spannung herabgesetzt wird (gemäss früheren Beschreibungen). Ausserdem ist nicht einzusehen, wozu diese weitgehende Variabilität dienen soll bei einer Untersuchung, die im Hinblick auf die Fragestellung unter möglichst konstanten und reproduzierbaren Bedingungen durchgeführt werden müsste, um eine Basis in der Form eines vergleichbaren Materials zu schaffen.

Gegen die Reizlichter kann methodologisch eingewendet werden, dass ein parallelstrahliges Licht, wie es L. verwendet, von dem Auge als ein Punkt oder richtiger als ein kleines Bild des Glühfadens abgebildet wird. In der geschilderten Versuchsanordnung muss bei korrekter Fixierung die Abbildung in der Fovealgegend geschehen und zwar mit einer solchen Intensität, dass nach einer (oder gar mehreren!) Belichtungen von je 1 Sek. Dauer mit einer lokalen Adaptation oder sogar Blendung gerechnet werden muss. Bei wiederholten Reizen muss man daher eine Abschwächung und gewisse Unregelmässigkeiten der Reaktion infolge der Schwierigkeit eine vollkommen gleichwertige Projektion des Reizlichtes auf dieselbe Retinalfläche zu erzielen, erwarten.

Ein wesentlicher prinzipieller Fehler liegt ferner darin, dass L. eine Reizdauer von etwa 1 Sek. verwendet. Er überschreitet dadurch bei weitem die Länge der Latenzzeit, und die Verminderung der Pupille bewirkt eine stetig fallende Reizintensität während des Kontraktionsverlaufes. CÜPPERS (1951) hat als erster auf diesen Punkt hingewiesen und auch ein Mittel geschaffen, diesen Fehler zu vermeiden. L:s Einteilung der Kontraktion in

eine Primärperiode (schnell), Sekundärperiode (langsamer) und Tertiärperiode (sehr langsam) erscheint deshalb unberechtigt. Auch ist diese Einteilung an sich ungenau und ohne genügende Haltepunkte für die Abgrenzung der drei Perioden. (S. Fig. 1.) Es sei schliesslich noch vermerkt, dass L. zwar angibt, aber in der Praxis offenbar eine konstante Zeit des Reizlichtes von einer Sekunde, nicht einhält. Vielmehr schwankt diese nicht unwesentlich wie aus dem Bildmaterial vielfach zu sehen ist. Für die genaue Analyse der Kurvenform dürfte dies nicht unwesentlich sein.

L. berührt diese Frage in einer seiner Arbeiten (1933), in der er mit Versuchen zeigen will, dass die Dauer des Lichtreizes für die Kurvenform nicht wesentlich ist. Es handelt sich aber dabei nur um die Kontraktionskurve. Für die Wiedererweiterungskurve kann dies jedenfalls nicht zutreffen, was auch L. indirekt zugibt, indem er diesen Verlauf für sich und mit besonderer Beleuchtungsmethode studiert. Die Frage der Reizlichtdauer und deren Bedeutung kann durch L.'s Versuche kaum als gelöst gelten, zumal er die Frage der Adaptation des Patienten an die Versuchsbeleuchtung und die dazu nötige Zeit im allgemeinen nicht beachtet hat. Nur bei dem speziellen Studium des »Reflexes auf Verdunkelung« widmet er dieser Frage ein Interesse und gibt als notwendige Adaptationszeit 18 Minuten an.

3. *Die Reizlichter für den Reflex auf Dunkelheit.* Diese sind ungenügend beschrieben. Es scheint jedoch, als ob L. eine Unterbrechung des Stromes verwendet um die Dunkelpause zu erzielen. Dabei hat er aber weder die Zündzeit noch die Löschzeit der Miniaturbirne beachtet. Diese sind aber von einer solchen Grössenordnung, dass sie bei einer Dunkelpause von 1 Sek. durchaus nicht versäumt werden können. Bei einer handelsüblichen Birne für Fahrradlicht (6 V 0,35 A) beträgt die sichtbare Löschzeit (mit rotierendem Arm über Skala gemäss Fig. 52 Spez. Technik studiert) 0,2–0,3 Sek. und die Zündzeit etwa 0,04 Sek. Es kann also Form und Einsetzen der Dilatation evtl. nicht unwesentlich durch ein solches allmähliches An- und Abklingen des Lichtes beeinflusst werden. Wenn verschiedene Untersucher ungleiche Ergebnisse bekommen, kann das in der Verwendung von verschiedenen Birnen liegen. Über die optischen Anordnungen für dieses unter-

brech-
dass
Aug
gan
oder
auch
jetzi
Ano
Bild
wed
geeig
einfl
gebi
ausm
werd
Erge
eing
allge
Wirk
nach
Imme
Richt
4.
für d
Filme
dasje
durch
weise
volla
ponie
konst
das M
fehlt.
In
System
wegun
für d
einen

brechbare »Adaptationslicht« herrscht Unklarheit. L. sagt nur, dass die Birnen in zwei Röhren eingebaut sind, dass sie je ein Auge reizen und dass der Lichtfleck so gross sei, dass er das ganze Gesicht bestrahle. Über Kondensorlinse, Reflektor, Blende oder sonstige optische Hilfsmittel wird nichts berichtet. Wie dem auch sei, besteht wahrscheinlich von den Ausgangspunkten des jetzigen Verfassers der gleichartige Grund zu Kritik wie bei der Anordnung der Reizlichter. Es entsteht foveal und parafoveal ein Bildchen vom Glühfaden der Birne. Eine solche Lichtquelle ist weder zu quantitativem Reiz noch zu Adaptationslicht besonders geeignet, weil dadurch bloss ein geringes Gebiet der Retina beeinflusst wird und zwar nur das am meisten empfindliche Maculagebiet. Da die Einwirkungsfläche auch nur einen Teil der Macula ausmacht und da der Wirkungsbezirk kaum konstant gehalten werden kann, besteht hierdurch ein Grund für unregelmässige Ergebnisse störender Art. Endlich kann man die Nützlichkeit des eingeführten Begriffes »Reflex für Dunkelheit« bezweifeln. Nach allgemeiner Erfahrung ist ein zusammengesetzter Reflex von der Wirkung eines Agonisten und eines Antagonisten abhängig. Je nach Umständen kann die eine oder die andere Seite überwiegen. Immer balancieren aber zwei Einflüsse, die in entgegengesetzter Richtung wirken.

4. *Zeitmarkierung und Reizauslösung.* L. hat keine Massnahmen für die Einpassung dieser Hilfsmittel in der Filmförderung und Filmexponierung getroffen. Er begnügt sich damit als Anfang dasjenige Bild zu nehmen, wo sich zum ersten Male der Reiz durch einen Lichtfleck markiert. Damit hat er aber unnötigerweise an Messgenauigkeit verloren. Durch Synchronisierung ist es vollauf möglich, den Reizanfang in die Mitte (zeitlich) einer Exponierung zu verlegen und diesen Zeitpunkt des Einsetzens konstant von Versuch zu Versuch zu benutzen. Dadurch bekommt das Messen von Latenzzeiten einen fixierten Anfang, der sonst fehlt.

In seinen früheren Arbeiten (1927 u. 1933) hat L. zwar ein System für kymographische Synchronregistrierung von Filmbewegung und Exponierung nebst Zeitkurve und Signalmagneten für die verschiedenen Reizqualitäten. Da er mit diesem System einen mittleren Wert von 0,06 Sek. für die Latenzzeit auf Licht

fand, hat er wahrscheinlich die Reaktionszeiten der Zeitschreiber (und Signalmagnete) nicht beachtet und kontrolliert. L. sagt hierüber nichts. Es ist dies ein Faktor, der in Versuchen oft unbeachtet bleibt und auch meistens (bei langsam verlaufenden Kurven) keine Rolle spielt. Bei der Registrierung von kurzen Zeiten und Zeitdifferenzen muss man aber schnelle Signalmagnete verwenden, deren Reaktionszeit vernachlässigt werden darf. Auch der Arbeitseffekt ist reichlich zu bemessen unter Beachtung der Friktion gegen das Papier, die möglichst niedrig gehalten werden soll. Wenn diese Faktoren nicht richtig abgestimmt werden, sind die Messungen von kurzen Zeiten unsicher.

5. *Betreffs Schärfereinstellung im allgemeinen und der besonderen Probleme bei Infrarotlicht.* Die Schärfereinstellung bei normalem sichtbarem Licht bietet wesentlich zwei Schwierigkeiten. Die eine liegt in der geringen Tiefenschärfe der verwendeten langbrennweitigen Objektive (100 mm oder mehr). Die Tiefenschärfe wurde schon früher in der einleitenden allgemeinen Übersicht berührt. Obgleich L. dieses Problem nicht berührt hat, und trotz FRANCESCHETTIS (1939) abweisender Haltung gegenüber MACHMERS Kritik muss sich der Verfasser MACHMER anschliessen. Die Tiefenschärfe einer langbrennweitigen Optik (150 mm) mit grosser Apertur (etwa $F=2$) beträgt ca 10 mm.¹ Ein grösserer Unterschied in Objektabstand wird sehr leicht, u. a. zwischen beiden Augen entstehen, wenn nicht geeignete Hilfsmittel für konstanten und gleichen Abstand vorhanden sind. Ausserdem besteht eine andere Schwierigkeit, die nicht erwähnt wird. Es ist kaum möglich, die optimale Schärfe mit Sicherheit einzustellen, wenn die Beleuchtung nicht einigermassen stark ist. Etwa 35 bis 40 Lux sind erforderlich, um ein klares Vizierbild zu bekommen. Eine solche Beleuchtung kurz vor der Aufnahme des Pupillogrammes bedeutet aber wiederum eine Fehlerquelle, da die darauf folgende Aufnahme, wenn die Adaptationszeit zu kurz ist, nicht in einem Gleichgewichtszustande der Retina geschieht, sondern gegen eine zunehmende Dunkeladaptation, die je nach dem Zeitabstand zwischen Vizierung und Exponierung eine verschiedene Reizempfindlichkeit bedeuten wird. In der Tat ist die exakte Vizierung auf

¹ Für den Objektabstand 500 mm.

volle Schärfe bei kleinen Bildformaten besonders schwierig. Ein Objekt wie die Iris ist für die Einstellung der optimalen Schärfe überhaupt nicht sehr geeignet, da die Struktur Tiefe hat und keine im voraus bekannten Merkmale. Man muss der Schärfereinstellung viel Sorgfalt widmen, denn das Ausmessen von unscharfen Bildern gibt wesentlich herabgesetzte Genauigkeit und vermehrt die sowieso recht grosse Mühe des Messens. In der folgenden Beschreibung der eigenen Methode wird der Verfasser geeignete, neuartige Hilfsmittel dafür beschreiben.

6. *Die Sonderprobleme der Fokussierung im Infrarot.* Diese werden überhaupt nicht berührt. Die Objektive sind aber nicht für Infrarot korrigiert. Solche Strahlung hat fast die doppelte Wellenlänge wie die mittlere der sichtbaren Strahlung. Infrarotwellen werden deshalb weniger gebrochen als das Licht, worauf fokussiert wird, und das Infrarotbild wird unscharf, wenn die Fokussierung des sichtbaren Bildes optimal und scharf war. In der Beschreibung der eigenen Technik soll dieses Problem erörtert werden.

7. *Die Entwicklung und Handhabung des Infrarotfilmes.*

Das Handhaben des hochempfindlichen »Kodak super sensitive infrared« Filmmaterials ist kaum ohne besondere Übung und Kenntnis der nötigen Vorsichtsmassnahmen durchzuführen. Da man meistens auf Entwicklung im eigenen Hause angewiesen ist, um einigermaßen schnell die Pupillogramme zu bekommen, wäre eine Beschreibung von Methode und Hilfsmitteln erwünscht. Schon das Handhaben von grösseren Filmlängen bei voller Dunkelheit muss gelernt werden.

Wenn man MACHMER mit der gleichen kritischen Einstellung studiert wie oben LÖWENSTEIN, findet man — wie auch schon hervorgehoben wurde — eine viel genauere und sorgfältigere Arbeitsweise, gegen die nur wenig Kritik anzuführen ist. Als wesentliche Verbesserung führt M. die Spiegelviziervorrichtung ein. Folgendes soll jedoch angeführt werden.

1. *Die Zeitmarkierung.* M. verwendet ein System mit Funkschrift am Filmrande, das an sich gut ist. Er hat aber nicht beachtet, dass die Markierung am kontinuierlich laufenden Film geschehen muss (was wegen Platzmangels meistens schwierig ist) und nicht auf der sogenannten Schleife zwischen den beiden

fördernden Filmzahnradern. Die Schleife hat ruckweise Bewegung und die räumliche Markierung der Zeit wird deshalb leicht um einen Vorschub, d. h. um eine Aufnahme verrückt. Man kann diese Tatsache in MACHMERS eigenen Reproduktionen (Fig. 3) gut beobachten. Die Intervalle zwischen den Zeitmarkierungen auf der rechten und linken Bildhälfte sind verschieden. Auch zeigt eine der Zeitmarken Zeichen von Bewegung. Dies ist prinzipiell der gleiche Fehler, den LÖWENSTEIN macht, wenn er mit Blinklichtern in den Film hinein seine Reizmomente und deren Dauer markieren will.

2. *Photographierabstand und Patientenreaktion.* MACHMER benutzt eine verhältnismässig kurze Entfernung. (S. Fig. 3.) Zwar hat dies technische Vorteile (leichtere Einstellung, bessere Schärfe) aber birgt auch ein grösseres Risiko für unerwünschte psychosensorische Reaktionen. Bei Versuchspersonen im eigentlichen Sinne dürfte dies keine Rolle spielen, da dieselben sich schnell an die Apparatennähe gewöhnen. Für Patienten dagegen — die häufig labil sein können — ist die Anordnung nicht sehr geeignet. Eine Entfernung, die nicht als »gesichtsnahe« empfunden wird, ist zu empfehlen, obgleich die Apparatur dadurch weniger handlich und mehr platzraubend wird.

Im übrigen ist betreffs der Methode von MACHMER zu beklagen, dass er sie nicht weiterführen konnte. Die Infrarotphotographie war zu dieser Zeit kaum möglich, und seine Technik für Synchronaufnahmen von beiden Augen ist weder veröffentlicht noch vollständig ausgearbeitet worden. Sie ist in seiner letzten Arbeit nur angedeutet.

Was endlich die Arbeiten von GRAEDEL & EISENDRAHT (1923) und GRAEDEL & ACKERMANN (1932) betrifft, so finden sich darin keine technischen Neuerungen.

ÜBER DIE NORMALEN GRUNDPHÄNOMENE DES PUPILLENREFLEXES AUF LICHT UND DEREN PATHOLOGISCHE ABWEICHUNGEN

Es ist nicht möglich, eine zweckmässige Technik für die Pupillo-graphie auszuarbeiten ohne mit dem Objekt der Untersuchungsmethode vertraut zu sein. Das gleiche gilt von der Beschreibung der Methode. Es scheint deshalb angebracht, die Hauptzüge unseres jetzigen Wissens hier wiederzugeben. Als Quellen können die drei schon zitierten Pupillenlehren (BUMKE 1904, BACH 1908 und BEHR 1924) nebst WEILER 1910 und LÖWENSTEIN (1933) dienen.

Die wichtigste Aufgabe des Pupillenreflexes ist wahrscheinlich die, das Auge vor plötzlicher Lichtsteigerung zu schützen. Die Pupille steht im Dienste der momentanen Adaptation. Bei plötzlicher Beleuchtungssteigerung zieht sich die Pupille zusammen und wird eng. Der Unterschied kann wesentlich sein. Wenn dieselbe bei schwacher Beleuchtung (0,2 Lx) einen Durchmesser von 7,5–8 mm hat, so kann sich die Pupille, bei plötzlicher Steigerung der Beleuchtung auf 1000 Lx oder mehr, derart kontrahieren, dass ihr Durchmesser nur 1,5 mm wird. Da die eindringende Lichtmenge der Pupillenfläche proportional ist, kann das Auge durch den Lichtreflex eine sofortige Abblendung im Verhältnis $\frac{(8)^2}{(1,5)^2}$,

d. h. 30:1 erreichen. Es folgt dann eine langsame Adaptation der Retina, die sich chemisch und durch Pigmentwanderung vollzieht, wobei das Auge im obigen Falle allmählich an Lichtempfindlichkeit einbüsst und die Pupille gleichzeitig sich langsam wieder erweitert, bis der Durchmesser und die Lichtempfindlichkeit einen Gleichgewichtszustand erreicht haben. Zwischen den Grenzen 100–1100 Lx (SCHIRMER 1894, zit. BEHR 1924 S. 22) ist der Pupillendurchmesser ein mittlerer und mit 3,5–4,5 mm annähernd konstant. SCHIRMER bezeichnet diesen Wert als den physiologischen

Pupillendurchmesser, den das Auge bei mittlerer Beleuchtung annimmt. Der Reflex auf Licht ist also an plötzliche Veränderungen gebunden. Das gilt sowohl für die Kontraktion der Pupille bei einer Verstärkung der Beleuchtung als auch für die Dilatation derselben bei Herabsetzung des Lichtes. Nur in den funktionellen Grenzgebieten wird die retinale Adaptation durch die Pupille ergänzt. Bei sehr schwacher Beleuchtung – auch wenn diese langsam einsetzt – wird die Pupille weiter und bleibt so trotz retinaler Dunkeladaptation. Das Umgekehrte gilt für sehr starke Beleuchtung (Schnee oder weissen Sand mit Sonne). Die Pupille wird dabei enger sein und enger bleiben als die physiologische Weite. Grundlegend ist also festgestellt, dass die Reaktion der Pupille vom Adaptationszustand der Retina abhängig ist. Dieselbe Beleuchtung kann einmal (bei lichtadaptiertem Auge) eine Erweiterung der Pupille und ein anderes Mal (bei dunkeladaptiertem Auge) eine Kontraktion auslösen. Der Pupillendurchmesser wird heute am genauesten photographisch festgelegt, oder einfacher durch ein Pupillometer. (S. BUMKE, BACH und BEHR wie auch TÖRNQUIST 1955.)

Die Form und der zeitliche Ablauf des Pupillenreflexes werden in einem Pupillogramm dargestellt und sind so am exaktesten zu studieren. *Die Pupillenreaktion ist konsensuell* und umfasst also beide Augen, auch wenn nur ein Auge gereizt wird. Die Reaktion ist sehr oft beiderseitig gleich gross, aber es besteht eine Tendenz dazu, dass die gereizte Seite am kräftigsten reagiert. Eine gewisse – wenn auch geringe – Unabhängigkeit der beiden Pupillarreaktionen ist auch festzustellen.

Man kann heute als festgelegt ansehen, dass *die Latenzzeit für die Reaktion auf Licht* etwa 0,20–0,25 Sek. beträgt. Die Variationen sind nicht mit befriedigender Methodik systematisch studiert worden und ein Normalmaterial, das die Streuung unter sonst gleichen äusseren Bedingungen zeigt, existierte bis jetzt nicht. Wenn von Pupillarreflex ohne nähere Angaben gesprochen wird, wird für gewöhnlich damit der Lichtreflex gemeint.

Die Kontraktionszeit, von Anfang der Kontraktion bis zu Maximumkontraktion gemessen, wechselt zwischen etwa 0,45–0,90 Sek. Sie ist abhängig von der Stärke und Dauer des Reizes, vom Initialdiameter der Pupille und dem Ausmass der Kontraktion. Ob und

welche Gesetzmässigkeiten hierfür bestimmend sind, ist nicht bekannt. MACHMER deutet die Kontraktion der Pupille als eine »aperiodische Bewegung«. Die Rolle des »schwindenden Lichtes« bei einer Reizdauer, die wesentlich länger als die Latenzzeit ist, wurde bei seiner Erklärung nicht beachtet. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Bewegung annähernd aperiodisch ist, weil der Kontraktionsmechanismus mit begrenzten Kräften und grossen Bremsflächen in Flüssigkeit arbeitet. Diese Bremskräfte steigen dann mit wachsender Geschwindigkeit sehr schnell an. Andererseits sind die anfänglich erforderlichen Kräfte für langsame Bewegung recht gering. MACHMERS Beobachtung ist daher kaum bedeutungsvoll. — Wie auch von MACHMER gezeigt worden ist, setzt die Kontraktion in der Regel unvermittelt ein und verläuft dann gradlinig.

Nach kurzdauerndem Reizlicht folgt auf die Kontraktion — in der Regel *nach einer Periode von konstantem Durchmesser* — die *Dilatation*. Diese setzt weniger plötzlich als die Kontraktion ein (siehe Fig. 1), verläuft meistens flacher und nicht selten stufenweise. Die Form der Dilatationskurve ist ungenügend studiert. LÖWENSTEINS Arbeit über den »Reflex auf Dunkelheit« ist eine Spezialstudie, die dieses Problem nicht löst.

Die Frage der physiologischen Variationen des Pupillogrammes ist von LÖWENSTEIN in einer grösseren Arbeit (1933) bearbeitet worden aber kaum sonst. MACHMER mit seiner sorgfältigen Technik, will gezeigt haben, dass die Latenzzeit für alle Individuen fast konstant ist und die Kurvenform für Kontraktion gleichfalls. Er hat aber auf diesem Gebiet nur ein verhältnismässig kleines Material, das nur den Kontraktionsteil der Kurve umfasst. Die tatsächlich vorkommenden Variationen sind daher durch seine Arbeit nicht erfasst worden.

LÖWENSTEIN meint vier Haupttypen der Kurvenformen unterscheiden zu können (s. Fig. 5), »den vier konstitutionellen Grundtypen von Kretschmer entsprechend«. Typus 1 soll am häufigsten vorkommen und Typus 4 soll für die schizothyme Gruppe charakteristisch sein und soll in Fällen von Schizophrenie oft typisch verändert sein.

LÖWENSTEIN stützt sich bei dieser Behauptung auf klinische Beobachtungen, wenn er dieselbe zum ersten Male (1927) ver-

öffentlich. LÖWENSTEIN ist der einzige Untersucher in dieser Richtung und kommt später (1933) und in seiner Übersicht (1942) auf seine Einteilung zurück ohne aber — soweit der Verfasser hat finden können — die sachliche Unterlage systematisiert zu haben. Vor allem scheint unentschieden zu sein, wie oft die Typen als ein individuelles Merkmal bei der Einzelbeobachtung gefunden werden können.

Ausser für Licht reagiert die Pupille auch auf gewisse andere Reize. Eine *Kontraktion* wird beobachtet, wenn sich die Augen von der Ferne auf ein nahes Objekt umstellen und also gleichzeitig konvergieren und akkommodieren.

Diese Reaktion fängt bei etwa 0,8–0,7 m an und wird erst bei maximaler Konvergenz und Akkommodation kräftig. Man hat viel darüber gestritten, ob die Mitinnervation bei der Konvergenz oder bei der Akkommodation am kräftigsten sei. Diese Frage scheint dahin entschieden zu sein, dass die Konvergenz den grössten Einfluss hat. Dieser Reflex ist zentralen (cortikalen) Ursprunges und kann also Pupillenkontraktion auslösen, auch wenn die afferente Reflexbahn für Licht blockiert ist. Sie spielt deshalb bei der Diagnose von luetischer Erkrankung (ARGYLL-ROBERTSONS Symptom, ADIES Symptom) eine gewisse Rolle.

Ein wichtiges normales Phänomen ist die sog. *physiologische Pupillenunruhe*. Diese besteht, wie der Name besagt, aus einer »Unruhe«, d. h. einer scheinbar unmotivierten Bewegung des Pupillenrandes. Das Phänomen ist gekennzeichnet teils durch schnellen Wechsel von lokalen Kontraktionen und Relaxationen des Irisrandes, teils durch wogende, etwa sekundenschnelle Durchmesseränderungen und endlich durch solche, die längere Zeit (Minuten, Stunden) bestehen und prozentuell recht erheblich (10–20–25 %) sein können. Die schnellen Bewegungen, deren Frequenz und Amplitude von Individuum zu Individuum wechseln und typisch sein sollen, kommen in Perioden und sind von ruhigen Intervallen unterbrochen. Diese schnellen Bewegungen mit der Frequenz 0,5–4 pro Sek. sind gut bekannt und u. a. von BEHR und LÖWENSTEIN eingehend besprochen worden. Weniger beachtet sind die spontanen Veränderungen des mittleren Durchmessers während eines längeren Zeitraumes. FRIBERGER hat in seiner Arbeit »Om mätning av pupillens vidd« (1903) dieses

Phänomen deutlich gezeigt. Mit einem von GULLSTRAND im Prinzip angegebenen Pupillometer betrachtet er das Auge und folgt dem Pupillendurchmesser durch stetiges Nachstellen. Das Instrument ist von F. durch eine mechanische Übertragung registrierend gestaltet worden, und er kann damit verhältnismässig schnellen Veränderungen des Pupillendurchmessers folgen und recht bequem über längere Zeiträume registrieren. Ein besonderer Vorteil ist dabei die relative Unabhängigkeit des Instrumentes von kleinen Augenbewegungen.

Betreffs der Ursache der physiologischen Pupillenunruhe ist man im allgemeinen der Ansicht, dass sie zentralen Ursprungs ist. Der Tonus des Sphinkterzentrums soll von Cortex aus beeinflusst werden und zwar so, dass »sensible« oder »sensorische« Reize den Tonus des Sphinkterzentrums hemmen. Der Tonus wird von dem Lichtreiz aufrechterhalten. LÖWENSTEIN in seiner Monographie über die Pupillenunruhe (1927) will die Pupillenunruhe als periodische Tonusschwankungen unabhängig vom Psychischen auffassen. Die Bedeutung der Pupillenunruhe als Störungsfaktor bei Bestimmung der Latenzzeit sowie die dadurch gegebene Möglichkeit zu anderen Fehlschlüssen wird in der Literatur nicht beachtet. Doch dürften Methoden, die nur einen Durchmesser bestimmen, davon beeinflusst werden. Wie sich die Pupillenunruhe am Irisrande abspielt ist nicht systematisch studiert worden. Die oben erwähnten langdauernden Veränderungen des Pupillendurchmessers sind nur von FRIBERGER studiert worden. Auch bei seiner Methode wird nur ein Durchmesser beobachtet.

Die Reaktion der Pupille nicht nur für Licht sondern auch für *sensibles und sensorisches kortikales Geschehen* hat dazu geführt, dass die Pupille als »das feinste Ästhesiometer des Körpers« bezeichnet worden ist. Grosses Interesse hat man der Pupillenunruhe deswegen gewidmet, weil dieselbe bei Tabes und anderen Formen von Neurolues nicht selten fehlt wie auch bei der Schizophrenie, wo ausserdem gleichzeitig die s. g. »psychosensiblen« und »psychosensorischen« Reaktionen nicht selten fehlen oder herabgesetzt sind (BUMKE 1904).

Diese kortikal ausgelösten Pupillenreaktionen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie zu einer kurzdauernden *Erweiterung der Pupille* führen. Da die Reaktion zentralen Ursprungs ist, kann

durch sie eine Pupillenerweiterung auch dann ausgelöst werden, wenn die afferenten Pupillenreflexbahnen (für Licht) beschädigt sind, was einen differentialdiagnostischen Wert haben kann.

Man hat sich am Ende des vorigen und Anfang des jetzigen Jahrhunderts offenbar recht viel um eine Subtildagnostik auf Grund der Pupillenphänomene bemüht. Diese mühevollen und teilweise recht subjektiv gefärbten Versuche sind heute kaum aktuell, teils weil wir andere Methoden besitzen, teils weil die Lues als Krankheit sehr in den Hintergrund getreten ist.

Als geeigneter, auslösender Reiz für »sensible« Reaktion wird Schmerz (durch Nadelstich oder Stromstoss ausgelöst) genannt. Ein plötzlicher Knall soll sensible Wirkung haben. »Sensorisch« soll die Suggestion von Furcht oder Angst wirken.

Ein »reiner Gehöreindruck ohne Furcht dabei«, wie z. B. ein Ton oder ein Geräusch, gibt eine »sensible« Reaktion, wenn er das erste Mal und überraschend wahrgenommen wird, aber kaum nach Gewöhnung.

Es grenzen diese Reaktionen offenbar eng an die physiologische Pupillenunruhe, die wahrscheinlich gewisse Seiten des sensorischen kortikalen Geschehens widerspiegelt. Die Einteilung in »sensorisch« und »sensibel« ist aber unklar.

Als *Hippus* ist eine pendelnde Pupillenbewegung bekannt, die in pathologischen Zuständen auftritt. Er umfasst den ganzen Umkreis und beträgt oft mehrere mm. Die Bewegung tritt rhythmisch auf ohne äussere Reize und mit der Frequenz von einigen Sekunden. Ein Zusammenhang mit der physiologischen Pupillenunruhe wird meistens bestritten.

Es sei hier auch die *Lidschlussreaktion* oder das *Orbicularisphänomen* (PILTZ-WESTPHAL, zit. BACH) geschildert. Diese Pupillenreaktion besteht in einer Pupillenverengung, die dann entsteht, wenn das Auge geschlossen wird. Da die normale Reaktion auf Verdunkelung Erweiterung ist, der eine Verengung folgt, wenn die Augenlider geöffnet werden und die Retina wieder Licht bekommt, so wird die Lidschlussreaktion hierdurch übertönt und ist gewöhnlich nicht sichtbar. Am besten studiert man diese als Orbicularisphänomen, indem man z. B. mit zwei Fingern eine kräftige aktive Lidschlussanstrengung verhindert. Die Beleuchtung soll nicht sehr kräftig sein. Man sieht dann eine Verengung

der Pupille etwa gleichzeitig mit der Orbiculariskontraktion eintreten.

Beschrieben ist ferner der s. g. *Trigeminus-Facialisreflex*. Dieser tritt als Verengung auf, im Anschluss an eine taktile oder thermische Reizung der Cornea, Conjunctiva oder der Lider. Der Grund warum man diese Reaktion als einen besonderen Reflex aufgefasst hat, liegt wohl darin, dass sie mit Verengung verläuft und also kaum unter dem gleichen Gesichtspunkt wie die s. g. sensiblen und sensorischen Reaktionen gesehen werden kann.

Ein s. g. *Ohrreflex* ist auch beschrieben worden. Die Pupille soll sich dabei verengern. (SCHREIBER 1905, zit. BEHR). Dieser ist nur beim Kaninchen nachgewiesen worden und zwar unter so unphysiologischen Verhältnissen, dass diese Reaktion für unsere Studie keine Bedeutung hat.

In der Bemühung messbare Reaktionen aufzufinden ist der *Galvanoreflex* benutzt worden. Man kann das Auge galvanisch reizen und dabei nicht nur ein »galvanisches Phosphen« sondern auch eine Pupillenkontraktion herbeiführen. (HELMHOLTZ, DU BOIS REYMOND etc.) Das Phosphen ist wesentlich (in normalen Fällen etwa vier Mal) leichter auszulösen als die Pupillenkontraktion. Anodenschlussreaktionen mit einer grossen (1 dm^2) Elektrode an der Brust und einer kleinen (etwa 10 cm^2) an der Schläfe oder einer noch kleineren (etwa $2-3 \text{ cm}^2$) direkt über dem geschlossenen Auge werden verwendet. BUMKE (1904 u. 1911) ist wohl derjenige, der mit dieser Methode am meisten gearbeitet hat, ohne dass dadurch — soweit man beurteilen kann — weder unser Verständnis noch unsere diagnostische Möglichkeiten vertieft worden sind. Vielleicht sollten die Versuche heute und zwar in Verbindung mit einer exakten Pupillographie wiederholt werden. Ein bestimmter Wert der Methode liegt nämlich darin, dass man bequem einseitig reizen und dabei entweder nur das eine oder beide Augen studieren kann. Blendung oder retinale Adaptation kommt nicht zustande. Es lässt sich also durch diese Methode gewissermassen der retinale Anpassungsfaktor auf Licht bei wiederholten Reizen eliminieren.

Ausser den hier beschriebenen Pupillenreaktionen werden auch eine Reihe von sogenannten *Nebenreaktionen* angegeben (siehe z. B. BEHR 1924 S. 51 ff.). Dieselben sind nach der Auffassung

des Verfassers als relativ wenig bedeutungsvolle, akzidentelle Befunde anzusehen. Nur die *Tournaysche Reaktion*, die in einer Erweiterung (eine Verengerung soll auch vorkommen) der Pupille des abduzierten Auges, bei maximalem Seitwärtsblicken beider Augen, besteht, scheint insofern von Interesse zu sein, als man diese Reaktion kennen muss, falls man Pupillenreaktionen in Verbindung mit Seitwärtsblicken studiert, besonders weil sie angeblich auch mit Hippus verbunden sein kann.

DIE PATHOLOGIE DER PUPILLENBEWEGUNGEN VOM METHODOLOGISCHEN STANDPUNKT

Ein grosser — wahrscheinlich der grösste — Teil der bekannten und auffallenden pathologischen Veränderungen der Pupillarreaktionen hat wesentlich neurologisches oder ophthalmologisches Interesse. Die Störungen können hier oft auf demonstrierbare und in seiner Wirkung verständliche pathologisch-anatomische Veränderungen zurückgeführt werden, die auch nicht selten lokalisierbar sind (z. B. Tumor). Die Pupillographie in ihrer jetzigen Ausführung — die immer noch recht zeitraubend ist — wird für diese Gebiete noch kaum eine Rolle spielen.

Bei den luetischen Erkrankungen spielen Pupillensymptome, wie früher erwähnt wurde und allgemein bekannt ist, nicht nur differentialdiagnostisch eine Rolle, sondern auch für die Frühdiagnose von metaluetischen (und neuroluetischen) Erkrankungen. Mit der sehr verbesserten Lage hinsichtlich Morbidität und Behandlungsmöglichkeiten dieser Krankheiten haben diese Symptome viel an Interesse verloren. Eine Reihe von Arbeiten BUMKE und LÖWENSTEIN u. a. — befassen sich mit den Veränderungen des Pupillenreflexes bei Geisteskranken. Da auf diesem Gebiet somatische Symptome als wichtig einzuschätzen sind, verdienen die Pupillenreflexsymptome viel Beachtung.

Für die Psychiatrie und deren angrenzende Gebiete kann eine Methode, die es erlaubt, den Verlauf der Pupillenreaktion genauer als bisher zu verfolgen, vielleicht ein wertvolles Hilfsmittel werden.

Es würde zu weit führen, das bis jetzt Geleistete in Einzelheiten erschöpfend zu kritisieren. Einiges ist bereits technisch und in

begrenztem methodologischem Sinne kritisiert worden. Man kann dabei feststellen, dass ausser O. LÖWENSTEIN eigentlich niemand die Methode der Pupillographie durch viele Jahre konsequent verwendet hat. Löwensteins Untersuchungen sind in gewisser Hinsicht mangelhaft, man muss jedoch anerkennen, dass er bei weitem die grösste Arbeit geleistet und mit Nachdruck auf die Bedeutung der Pupillographie hingewiesen hat. Beim Durchlesen seiner vielen Arbeiten über die Pupillographie und die Pupillenreaktionen kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass die klinische Erfahrung mehr für ihn bedeutet als der objektive Befund.

Bei einer Reaktion, die so komplex ist wie der Pupillenreflex, ist es jedoch notwendig, den Befund möglichst exakt und eindeutig festzustellen.

Aus diesem Grunde hat es sich der Verfasser zur Aufgabe gemacht, eine handliche, quantitative, binokulare pupillographische Methode auszuarbeiten und ein Typenmaterial mit dieser Methode zu untersuchen.

DIE APPARATUR UND METHODE DES VERFASSERS

Der Verfasser bedient sich wie LÖWENSTEIN, MACHMER und andere einer Filmmethode, allerdings mit einigen wesentlichen Modifikationen. Die Methode wird zuerst prinzipiell geschildert. Die technischen Einzelheiten werden später im Abschnitt »Spezielle Technik« beschrieben. Der Verfasser hat zuerst versuchsweise mit 50 Bildern pro Sekunde gearbeitet (Fig. 6 a). Dabei stellte sich aber heraus, dass, abgesehen von Ausnahmefällen, die Pupillogramme kaum so schnelle Variationen enthielten, dass diese Frequenz als Norm motiviert sein kann. Der Verfasser hat die Frequenz 25/Sek. (Fig. 6 b) in der Regel ausreichend gefunden. Einzelheiten der Pupillenunruhe gehen zwar dabei verloren, aber dies geschieht kaum in entscheidender Weise. Die beträchtliche Mehrarbeit beim Fertigstellen von Kurven mit 50 Bildern pro Sekunde scheint nicht motiviert. Als Filmdimension wurde 16 mm gewählt. Wenn ein grösseres Format des Primärbildes zwecks besserer relativer Schärfe erwünscht war, und wenn die Versuchsperson nicht mitarbeitete, sodass die richtige Einstellung der Bildfelder bei 16 mm zu schwierig und unsicher war, wurde 35 mm verwendet.

Die Methode des Verfassers geht darauf aus, beide Augen gleichzeitig abzubilden unter Auslassung des interokularen Abschnittes. Für den grössten Teil des Materials geschah dies mit Hilfe eines Vorsatzes aus zwei Objektiven nebst Spiegelreflex-Vizier gemäss Fig. 7. Dabei wurden Bilder wie Fig. 8 erzielt.

Fig. 9 zeigt die gesamte Versuchsanordnung. Der Patient sitzt auf einem Stuhl, dessen Höhe verstellbar ist. Die bei Augenuntersuchung übliche Methode mit Stirn- und Kinnstütze wird verwendet. Beide Stützen sind verstellbar (s. »Spezielle Technik«) und werden so eingestellt, dass sich die Augen des Patienten auf eine konstante Normalhöhe und in einer konstanten Entfernung von dem Objektiv der Kamera befinden. Der Pupillenabstand ist aber

A.
B.

nicht
auf
Pup
glas
hor
den
Wi

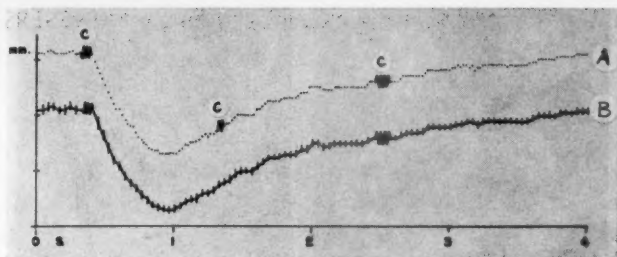


Fig. 6.

- A. Ein Pupillogramm mit der Frequenz von 50 pro Sekunde aufgenommen.
 B. Dasselbe Pupillogramm mit Hilfe von nur 25 Bildern pro Sekunde gezeichnet. Bei C sind Lidschläge markiert.

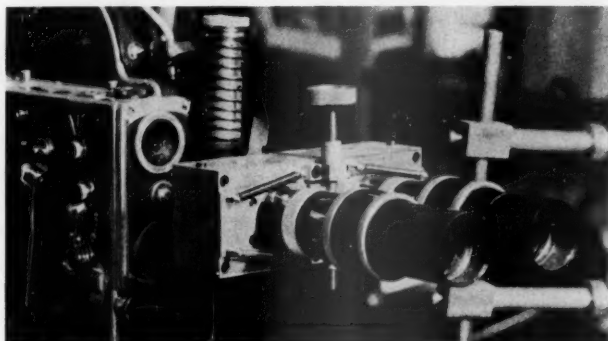


Fig. 7.

Zwillingsobjektiv mit Spiegelvisiervorrichtung.

nicht konstant. Wenn zwei Objektive benutzt werden, sind diese auf die mittlere Pupillendistanz fixiert. Grössere oder kleinere Pupillendistanzen werden mit Hilfe von zwei planparallelen Plexiglasscheiben (s. Spezielle Technik) korrigiert. Diese sind um zwei horizontale Achsen drehbar, haben Manövergriffe und sind vor den Objektiven angebracht. Durch Einstellung in geeigneten Winkeln wird eine scheinbare Pupillendistanz hervorgebracht, die

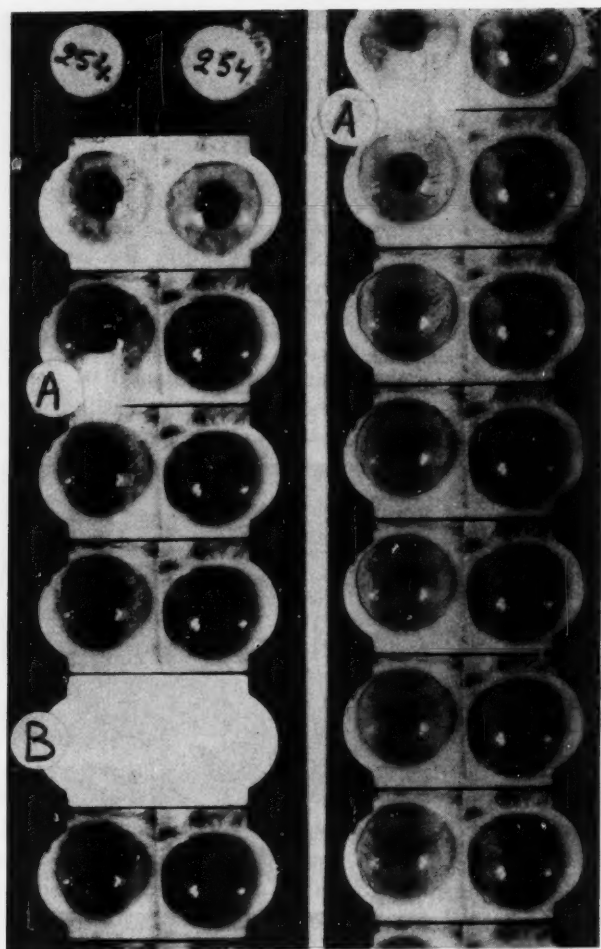


Fig. 8.

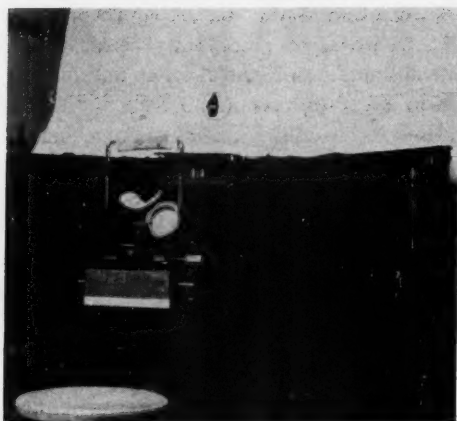
Zwei Filmstreifen aus demselben Film mit der Apparatur des Verfassers aufgenommen. Der linke Streifen zeigt die Nummernmarkierung und das erste Augenbild etwas kräftiger exponiert. Die Zeitmarkierung (A) ist in beiden Filmen sichtbar. Das Reizlicht kommt bei B auf dem linken Film. Auf dem rechten ist ein Stück der Kontraktionsperiode abgebildet.

mit dem Zentrumabstand der Objektive (= mittlerer Pupillendistanz) identisch ist. Diese Anordnung wurde gewählt, um mit fixem Objektivaabstand zum Filme arbeiten zu können.

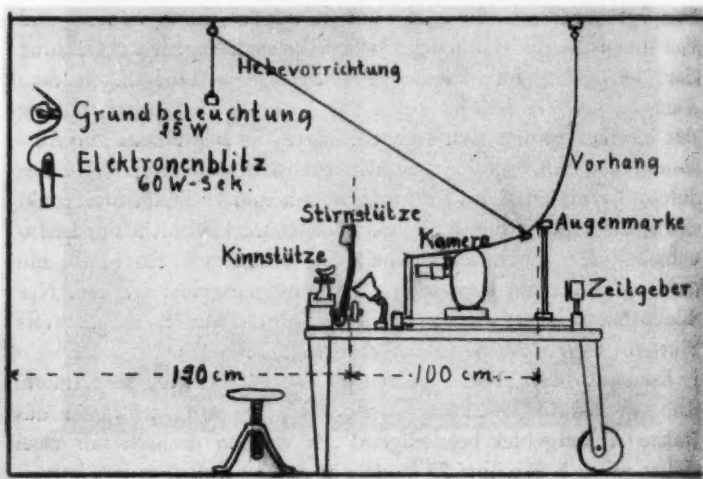
Als *Photolicht* dient *Infrarot* aus 6 Scheinwerfern mit Filtern, von denen 3 das rechte und 3 das linke Auge beleuchten. Jeder Scheinwerfer hat den Effekt von 25 Watt bei 12 Volt, wird aber mit einer Unterspannung von 8 V betrieben. Diese Anordnung wurde gewählt, um die relative Strahlungsintensität von jedem Scheinwerfer mässig zu halten. Licht genug wurde mit annähernd gleichmässiger Verteilung über jedes Auge durch die Verwendung von je drei Scheinwerfern gesichert. Betreffs Filter, Reflektoren und anderer Einzelheiten siehe »Spezielle Technik«. Die Anordnung für das Reizlicht wurde nach vielen Versuchen mit direkten Lichtquellen so konstruiert, dass ein Elektronenblitzaggregat, das hinter dem Patienten angebracht war, sein Licht auf einen weissen Vorhang vor dem Patienten warf, und so eine grosse, indirekt beleuchtete Fläche erzeugte. Nur der untere Teil war aus schwarzem Seidekrepp. Durch diesen Abschnitt wurde photographiert und von hier kam beiderseitig die Infrarotbeleuchtung. Die Auslösung des Reizlichtes geschah durch einen Synchronkontakt in dem Kameralaufwerk, der eine kurze Zeit (etwa 0,15 Sek.) nach Anfang des Filmens automatisch aktiviert wurde. Es folgte dann die Auslösung des Blitzes mitten in der nächsten Exponierung. Dieses Bildfeld erscheint schwarz in dem Film und bedeutet Startpunkt des Reizes. Durch den Kamerakontakt können ev. nicht nur Lichtreize sondern auch andere beliebige Reize wie ein Knall, ein Stromstoss etc. zu konstantem Zeitpunkt ausgelöst werden. Nur Lichtreizung wurde aber in dieser Arbeit verwendet. Betreffs Einzelheiten im Aufbau siehe »Spezielle Technik«.

Kameraantrieb. Hierzu diente das Originalfederwerk der Kamera. Die Geschwindigkeitskonstanz des Ablaufes war nicht über das ganze Ablaufgebiet befriedigend. Es wurden deshalb nur zwei Filme zu 4–5 Sek. (bei 25 Bildern pro Sek.) zwischen jedem Aufzug des Laufwerkes aufgenommen. Der Geschwindigkeitsfehler überstieg dann nicht 2%.

Als *Geschwindigkeitskontrolle* diente eine Zeitmarkierung ($1/2$ Sek.) am Rande des Filmes, die mittels einer Kleinstbirne und einer Kontaktvorrichtung (Synchronmotor) betätigt wurde. Die



A



B

Fig. 9.

a. Die Apparatur des Verfassers. Die wesentlichen Teile sind unten in dem Schema Fig. 9 b ersichtlich. Bei A erscheint das Augenmerk (in 1 m Entfernung).

b. Schema der Versuchsanordnung des Verfassers.

Einzelheiten sind in der »Speziellen Technik« gegeben. Die Markierung war so eingebaut, dass sie am kontinuierlich laufenden Film geschah, wo dieser definiert über Zahnrad läuft. Die Schleife ist für eine Zeitmarkierung nicht tauglich.

Die Zeitmarkierung bediente auch eine kleine rote Birne hinter dem weissen Vorhang. Die Versuchsperson sah diese als ein kleines, rotes, blinkendes Licht. Dieses Licht (in etwa 1 m Entfernung) diente der Versuchsperson als *Blickfang* und zugleich dem Versuchsleiter als Zeitangabe beim Abzählen der Filmperiode.

Reizlicht. Als Reizlicht wird ein Elektronenblitz (Braun-Hobby; 60 Watt-Sek.) verwendet, der gemäss Fig. 9 B montiert ist. Er wirft sein Licht gegen den Vorhang der Versuchsanordnung. Die Intensität des reflektierten Lichtes in Augenentfernung gemessen beträgt rund 3600 Lx, und die Dauer etwa eine Millisekunde. Die Reizzeit kann deshalb versäumt werden. — Durch diese Art des Reizlichtes wird der grösste Teil der empfindlichen Retina gleichmässig beleuchtet.

Eine konstante Reizung ist deshalb leicht reproduzierbar, und das Reizlicht ist unabhängig von der nachfolgenden Pupillenkontraktion. Der Blitz ist in eine bestimmte Exponierung hineinsynchronisiert.

Grundbeleuchtung. Alle Pupillogramme sind bei einer diffusen Grundbeleuchtung des Auges von 1.3 Lx aufgenommen worden, die als reflektiertes Licht von dem weissen Vorhang ausgeht. Gemessen wurde diese Intensität mit einer Photozelle (Sperrschicht), die an Stelle des Auges angebracht und deren Photozelloberfläche gegen den Vorhang gerichtet war. (Über Messnormale und Messtechnik s. Spezielle Technik!) Die Beleuchtung gegen den Vorhang kam von der Wand 1,2 m hinter der Versuchsperson. Diese wurde durch eine nach vorne abgeschirmte Birne von 25 W beleuchtet, und das reflektierte Licht traf den Vorhang in solcher Intensität, dass die Rückstrahlung vom Vorhang bis zum Auge der Versuchsperson etwa 1.3 Lx betrug ($\pm 0,05$ Lx). Diese Struktur des Gesichtsfeldes wurde nach gewisser Überlegung und einer Reihe von Versuchen gewählt und zwar aus folgenden Gründen.

Die Struktur des Gesichtsfeldes soll grösstenteils aus einem neutralen weissen Vorhang, gegen welche sowohl Grundlicht wie Reizlicht geworfen werden, bestehen. Dadurch wird erreicht, dass

nicht nur die Fovea centralis, sondern auch der überwiegende Teil der Retina gleichmässig diffus beleuchtet wird. Es gilt dies sowohl für die Grundbeleuchtung wie für das Reizlicht. Erfahrungsgemäss kann konstatiert werden, dass ein solches Gesichtsfeld geeignet ist, gleichmässige Reaktionen auszulösen. Die spontane Pupillenunruhe wird geringer und verschwindet oft fast ganz und lokale Blendungen der Retina werden vermieden.

Die Begrenzung liegt darin, dass man immer beide Augen reizen muss. Die konsensuelle Pupillenreaktion kann infolgedessen mit dieser Methode nur mit einer modifizierten Technik studiert werden. Nach den Erfahrungen des Verfassers muss man aber bei einer so komplexen Reaktion wie der Pupillenreflex mit möglichst eindeutigen und unkomplizierten Bedingungen arbeiten. Ganz besonders gilt diese Forderung, wenn die Methode auf psychiatrische Untersuchungen hinzielt, da solche Patienten evtl. Mangel an Vermögen oder Willen zum Mitwirken zeigen.

Die Stärke der Grundbeleuchtung (1,3 Lx, s. oben) wurde mit Rücksicht auf mehrere Faktoren festgelegt. Sie sollte so niedrig gewählt werden, dass eine gut dilatierte Pupille auch nach Adaptation vorhanden war.

Anderseits sollte nicht in zu schwacher Beleuchtung untersucht werden, erstens weil dieses beim Untersuchten Affekt auslösen kann und zweitens weil sie für die Arbeit unbequem ist. Zu schwache Beleuchtung bedeutet auch einen Extremzustand für die Sehfunktion, wo das Hauptgewicht der Lichtwirkung auf den Stäbchen liegt. Endlich kommt hinzu, dass die Adaptationszeit recht lang wird. Die Grenze für zunehmende Dominanz der Stäbchenfunktion liegt ungefähr bei 0,2 Lx. Die Übernahme ist durch ein Nachlassen der fovealen Dominanz für das Sehen gekennzeichnet, weil die Fovea keine Stäbchen enthält. Dadurch sinkt der Visus (mit Diamantschrift für Nahpunktbestimmung gemessen) ziemlich abrupt. Dieses kann geprüft werden und ist bei der Dimensionierung der Grundbeleuchtungsintensität als Prüfmethode verwendet worden. Die Beleuchtung ist während der Probe mit einem Photoptometer (P. PETERSEN 1956) variiert worden. Es stellen sich dabei bei etwa 0,2–0,3 Lx (als von der Testfläche reflektiertes Licht, gemessen bei einem Leseabstand = Messabstand = $\frac{1}{3}$ m) Leseschwierigkeiten ein.

Die Versuchsperson braucht bei dieser Grundbeleuchtung 10 Min. um zu adaptieren. Dies ist etwas weniger als von anderen angegeben worden ist (15 Min.) aber nach der Erfahrung des Verfassers ausreichend, weil eine zweite Bestimmung 5 Min. später ganz identische Pupillogramme und Pupillendurchmesser gibt. Man könnte sich in der Tat manchmal mit weniger begnügen, namentlich wenn die Versuchsperson nicht lichtadaptiert ist. Der Verfasser hat darauf geachtet, Versuchspersonen, die aus starkem Sonnenschein kamen, etwas längere Adaptationszeit zu geben (10 + 5 Min.).

Das Pupillogramm wird folgendermassen aufgenommen.

1. Die Versuchsperson adaptiert während 10 Min. an die Grundbeleuchtung. Ihre Pupillendistanz wird gemessen.

2. Es werden zwei magnetische Reiter mit Etiketten und der Nummer des Versuchs versehen (s. Spez. Technik) und an die Laufbahn eines Schildchens gesetzt. Diese dienen als Augenphantome und werden so eingestellt, dass der Zentrumsabstand = Pupillendistanz der Versuchsperson ist. Die Kinnstütze wird gegen einen vertikalen Schaft ausgetauscht, worin das Schildchen symmetrisch in Augenhöhe befestigt wird. Das Schildchen wird für Abbildung in der Kamera einvisiert, wobei auch für die tatsächliche Pupillendistanz eingestellt wird. Da die Entfernung des Objektes konstant ist, braucht nicht die Schärfe sondern nur das Bildfeld eingestellt zu werden. Eine Hilfsbeleuchtung ist auf die Schilder gerichtet.

3. Das Infrarotlicht wird eingeschaltet aber nur mit 6 Volt pro 12 Volt Birne. Mit dem Knopf für Einzelexponierungen (der etwa 70% längere Zeiten gibt als bei kontinuierlichem Ablauf der eingestellten Frequenz von 25/Sek.) werden 10–12 Exponierungen gemacht, um den Film am Anfang mit der Nummer des Versuches zu versehen. Gleichzeitig erhält man eine Kontrolle auf Schärfereinstellung und Abbildungsgrösse (s. Spez. Technik). Das Infrarotlicht wird ausgemacht und auf 8 V umgeschaltet.

4. Die Versuchsperson setzt sich auf den Stuhl; Kopf in der richtigen Lage mit Kinn und Stirn in ihren Stützen. Die Augen werden in die richtige Höhe und Entfernung gebracht.

Der Vorhang ist dabei nach vorne geschoben und gehoben, so dass bequem vizierte werden kann. Die Versuchsperson hat ein

provisorisches Augenmerk in derselben Sichtlinie wie das definitive, rote Wechsellicht. Das Infrarotlicht wird eingeschaltet (8 Volt).

5. Das Kameralaufwerk wird aufgezogen und der Elektronenblitz aufgeladen. Darauf wird 4,5–5 Sek. photographiert, was durch Abzählen von 10–11 Impulsen am Blinklicht des Blickfanges kontrolliert wird.

6. Der Film ist exponiert und kann zwecks Entwicklung ausgenommen werden, oder es kann die nächste Versuchsperson untersucht werden. Bei der vom Verfasser gebrauchten Versuchsanordnung wurden 15 m Empfangsspulen verwendet und Entwicklungerrahmen, die eben diese Länge bequem aufnehmen konnten. Für jede Aufnahme wurde reichlich 1 m Film verbraucht. Es war deshalb möglich, ohne Auswechslung der Empfangsspule 12 Versuchspersonen zu pupillographieren.

Die entwickelten Filme wurden in einem Vergrößerungsapparat ausgemessen. Die Konstruktion desselben wird in »Spez. Technik« beschrieben. Prinzipiell ist sie von den Apparaten früherer Untersucher nicht verschieden, hat aber in den Einzelheiten gewisse Änderungen erfahren. So beträgt die absolute Vergrößerung des Augenbildes 10 Mal (Filmvergr. = 23 Mal) und die Position des Projektors ist anders gewählt.

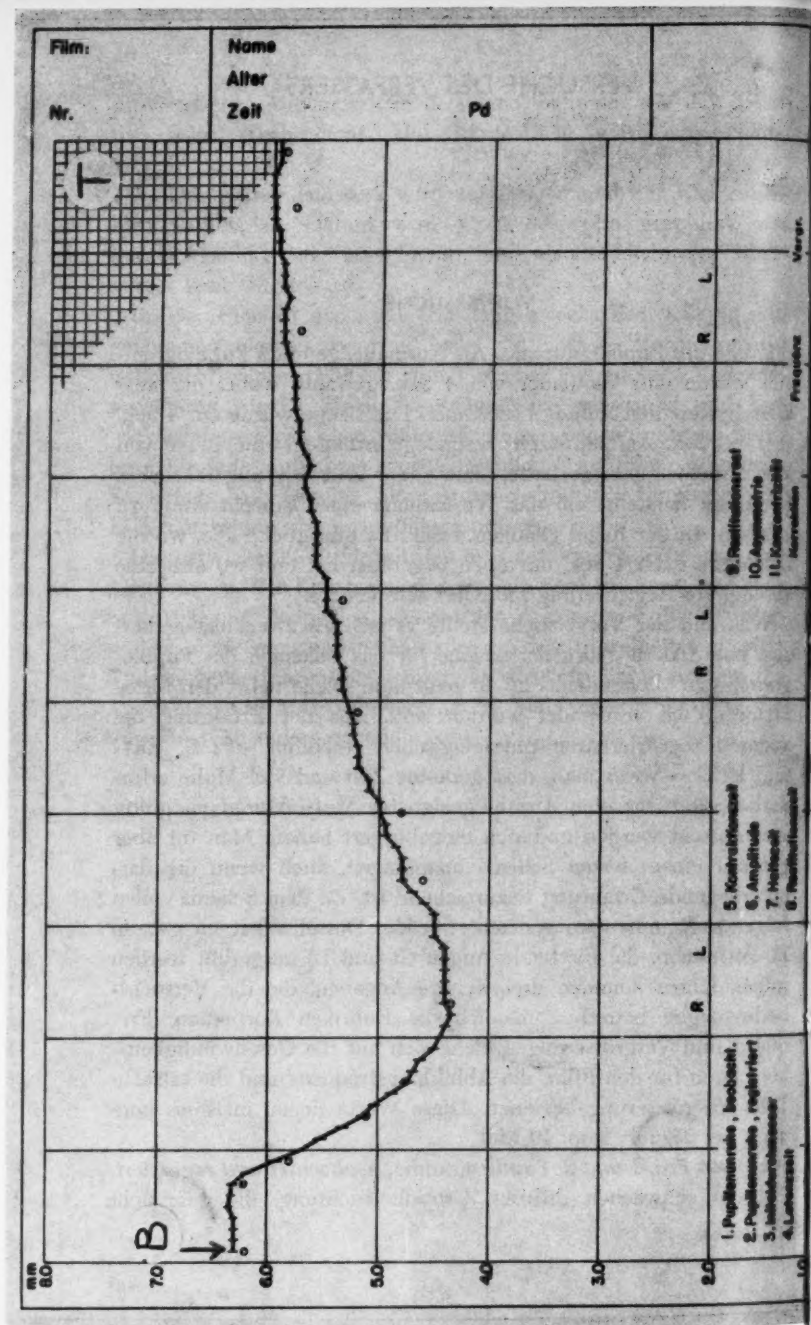
VERSUCHE DES VERFASSERS

VORVERSUCHE

Länge des Pupillogrammes. Als Normallänge eines Pupillogrammes wurde eine Zeitdauer von 4 Sek. gewählt, wobei der auslösende Reiz den Anfang bezeichnet. Die Länge wurde auf 4 Sek. ($4\frac{1}{2}$ –5 Sek. Aufnahmezeit) festgelegt, nachdem eine Reihe von Vorversuchen gezeigt hatte, dass diese Zeit ein ungefährliches Minimum darstellt, um das Wesentliche einer Einzelreaktion zu erfassen. In der Regel genügen 4 Sek. Es gibt aber Fälle, wo die *Dilatation* nach 4 Sek. nur eben begonnen hat und wo also eine verlängerte Registrierung motiviert sein könnte.

Während der Vorversuche stellte es sich als zweckmässig heraus, eine fixierte Normalschablone für das Zeichnen der Pupillogramme zu verwenden. Fig. 10 zeigt eine solche nebst den Messfaktoren, die verwendet worden sind. Aus der Erfahrung bei anderen registrierbaren physiologischen Abläufen – z. B. EKG und EEG – weiss man, dass geraume Zeit und viel Mühe erforderlich sind, bis eine Anzahl geeigneter Messfaktoren endgültig ausgeforscht werden und sich eingebürgert haben. Man tut aber gut mit einem festen Schema anzufangen, auch wenn die darunterliegende Erfahrung unzureichend ist. Zu dem Schema sollen folgende Kommentare gemacht werden. Dasselbe hat im ganzen 11 Positionen, die für beide Augen (R und L) ausgefüllt werden sollen. Hinzu kommen drei weitere Angaben, die die Versuchsbedingungen betreffen, nämlich die Rubriken Korrektur, Frequenz und Vergrößerung, welche sich auf die Geschwindigkeitskorrektur für den Film, die Abbildungsfrequenz und die tatsächliche Vergrößerung beziehen. Diese Werte liegen meistens konstant bei 25/Sek. resp. 10 Mal.

a. *Betr. Pos. 1 und 2: Pupillenunruhe, beobachtet und registriert.* Bei der schwachen diffusen Grundbeleuchtung, die gebraucht



wi
de
we
sch
ge
du
±
o
der
Da
Exp
lieg
wer
bes
von
- 0
lich
Bei
der
sch
als
Ver
der
Pun
der
kan
säch
D
Eins
wer

Norm
Teils
nahm
= 0,

wurde, konnte eine Pupillenunruhe nicht direkt beobachtet werden. Nur das unbewaffnete Auge wurde für die Beobachtung verwendet. Das Ergebnis der Registrierung wird weiter unten beschrieben.

b. *Betr. Pos. 3: Initialdurchmesser.* So wie die Methode ausgeformt ist, erhält man den absoluten Wert des initialen Pupillendurchmessers vor der Lichtreizung mit einer Genauigkeit von ± 0.03 mm.

c. *Betr. Pos. 4: Latenzzeit.* Diese ist oben als die Zeit zwischen der Reizung und dem Beginn der Kontraktion definiert worden. Da der Zeitpunkt für den Reiz immer in der Mitte derjenigen Exponierung, deren Bild schwarz im Film erscheint (s. Fig. 8), liegt, lässt sich die Latenzzeit mit einem grössten Fehler von etwas weniger als der Zeitabstand zwischen zwei Exponierungsanfängen bestimmen. In der Praxis bedeutet dies einen maximalen Fehler von 0.03 Sek., in unsymmetrischer Verteilung etwa von $+ 0.01$ bis $- 0.02$. Die tatsächliche Streuungskurve ist auch von der Geschicklichkeit des Untersuchers und der aktuellen Bildgüte abhängig. Bei wiederholten Untersuchungen einer und derselben Person hat der Verfasser Werte erhalten, die die obige Variation nicht überschreiten. In der Tat ist meistens eine etwas grössere Genauigkeit als die obige möglich. Wie schon MACHMER gezeigt hat, und der Verfasser in Vorversuchen bestätigen konnte, ist das Einsetzen der Kontraktion meistens sehr distinkt, sodass ein wohldefinierter Punkt entsteht (Fig. 11). Wenn das bei Pupillogrammen, die mit der Frequenz 25/Sek. aufgenommen wurden, nicht der Fall ist, kann die Ursache ein geringer Zeitunterschied zwischen dem tatsächlichen Kontraktionsanfang und dem beobachteten sein.

Die Kurve zeigt dann ein scheinbar weniger gut definiertes Einsetzen der Kontraktion, gemäss Fig. 12, das aber korrigiert werden kann. In gewissen Fällen des vorliegenden Materials sind

Fig. 10.

Normalschablone für Pupillogramm. Die Versuchszeit umfasst 4 Sek. = 100 Teilstriche. 1 Teilstrich = 0.04 Sek. Aufnahmefrequenz 25 pro Sek., ausnahmsweise 50 pro Sek. Teilung für Pupillendurchmesser: jeder Teilstrich = ≈ 0.1 mm. — Die Teilung T deckt in Wirklichkeit die ganze Schablone. Bei B (Pfeil) kommt das Reizlicht.

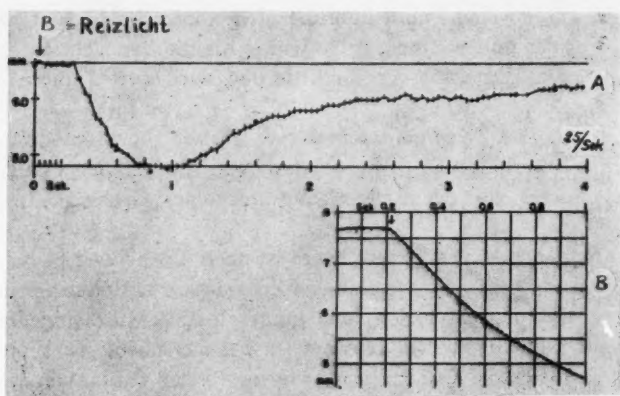


Fig. 11.

Pupillogramme gemäss dem Verf. (A) und gemäss Machmer (B), die einen typischen und gut abgesetzten Kontraktionsanfang zeigen. Machmer, Beiträge zur Physiologie u. Pathologie der Pupille; Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1933, 94 S. 310.

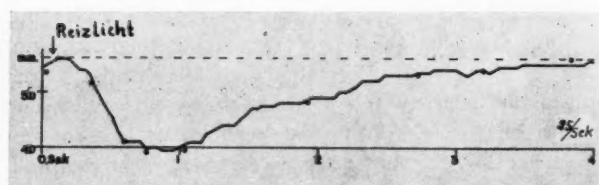


Fig. 12.

Gestörter Kontraktionsanfang, der sich nicht gut absetzt.

solche kleinere Korrekturen beim Aufmessen der Kurven vorgenommen worden. Wenn eine grössere *Pupillenunruhe vorhanden ist*, ist einige Vorsicht geboten, weil dann die Unruhe mit der Kontraktionsbewegung interferiert. Es sind also nicht alle Kurven gleich geeignet.

d. *Betr. Pos. 5: Kontraktionszeit*. Damit wird (im Einklang mit früheren Autoren) die Zeit vom Anfang der Kontraktion bis zu

deren Maximum gemeint. Durch die Kontraktionszeit sollte die klinischen Begriffe »lebhaft« oder »träge« Pupillarreaktion genauer bestimmt werden.

e. *Betr. Pos. 6: Amplitude.* Darunter wird der Unterschied zwischen dem Initialdurchmesser und dem Durchmesser während der maximalen Kontraktion verstanden. Bezüglich der klinischen Begriffe gilt das unter Pos. 5 Angeführte. Grosse Amplitude wird man als lebhaft auffassen, wenn die Bewegung nicht ausgesprochen langsam ist.

f. *Betr. Pos. 7: Haltezeit.* Darunter versteht der Verf. die Zeit während welcher die Pupille nach der Kontraktion in einem Zustand mit konstantem Durchmesser verharret. Diese Zeit kann man als Latenzzeit für die Dilatation auffassen oder auch als Abklingzeit für den Sphinktertonus. Da dieselbe nicht unwesentlich wechselt und auch sehr lang sein kann, scheint die letztere Auffassung mit den sachlichen Befunden am besten vereinbar.

g. *Betr. Pos. 8: Restitutionszeit.* Darunter wird diejenige Zeit verstanden, die von Reizanfang bis zum Wiedererreichen des Initialdurchmessers vergeht. Die Restitutionszeit, die häufig länger als 4 Sek. ist, kann nicht immer gemessen werden.

h. *Betr. Pos. 9: Restitutionsrest.* Recht häufig erfolgt während der Versuchszeit keine volle Restitution, oder es besteht (selten) nach 4 Sek. ein grösserer Durchmesser als der Initialdiameter. Wenn etwas fehlt, sodass der Durchmesser noch nicht voll ist, wird das als *negativer Restitutionsrest* mit dem zahlenmässigen Wert in mm und negativem Vorzeichen angegeben. Bei überschüssiger Erweiterung wird das Vorzeichen der Differenz positiv.

i. *Betr. Pos. 10: Anisokorie.* Darunter wird der *Anfangsunterschied* im Durchmesser zwischen rechtem und linkem Auge verstanden. Ist der linke Durchmesser grösser als der rechte, wird die Asymmetrie negativ, sonst positiv oder 0.

k. *Betr. Pos. 11: Konzentrizität.* Dieser Faktor ist früher nicht studiert worden, da dies mit Vorteil nur dann möglich ist, wenn ein grösseres Format (35 mm), grössere Primärbilder und sehr kurze (Millisek.) Exponierungszeiten benutzt werden. Die Konzentrizität der Kontraktion wird am Irisrande studiert und zwar so, dass die Form des Irisrandes während der Kontraktion mit

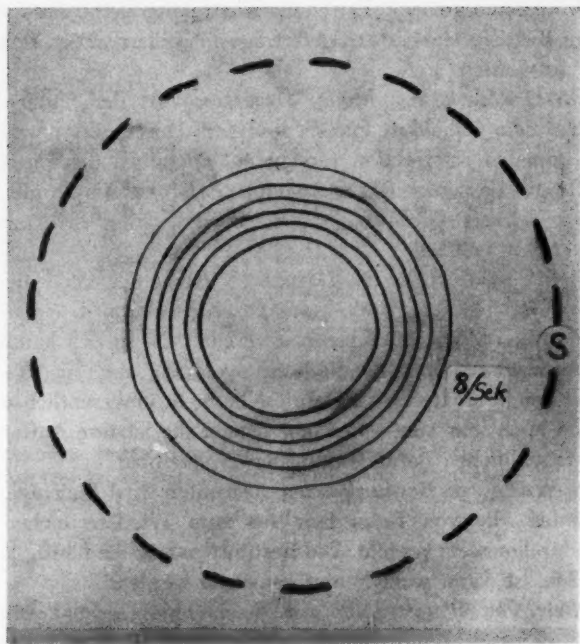


Fig. 13.

Konzentritätsdiagramm, schematisch. S ist die Scleralgrenze, die zwecks richtiger Orientierung beim Zeichnen markiert wird.

$\frac{1}{8}$ Sek. Intervallen von isotop orientierten Bildern der Reihe nach abgezeichnet wird. Fig. 13 zeigt ein Konzentritätsdiagramm schematisch.

DIE ROLLE DER ADAPTATION

Es wurde eine Versuchsreihe gemacht, um die Rolle einer unvollständigen Adaptation auf die Grundbeleuchtung zu studieren. Dabei wurde bestätigt, dass sich die Pupille in den ersten Sekunden nach dem Übergang von stärkerer Beleuchtung (> 100 Lx)

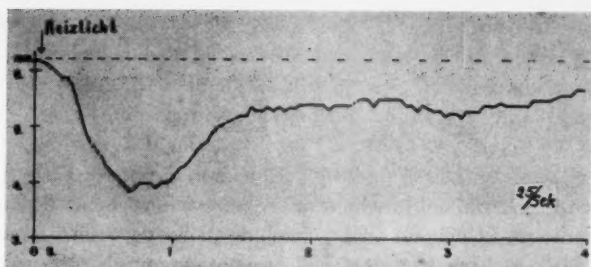


Fig. 14.

Pupillogramm von einem nicht adaptierten Auge. Man sieht, dass sich der Kontraktionsanfang schlecht markiert und dass die Latenzzeit scheinbar eine sehr kurze ist.

zu der schwachen Grundbeleuchtung (ca. 1 Lx) fast maximal dilatierte. In den darauf folgenden Minuten vollzog sich ein wesentlicher Teil der Adaptation, und die Pupille wurde ziemlich schnell wieder enger. Wenn während dieser Periode photographiert wird, können die Latenzzeiten gemäss Fig. 14 zu kurz werden. In einem derartigen Pupillogramm täuscht nämlich die akkommodative Kontraktion, die sich während der Latenzzeit bemerkbar macht, eine fast momentane Reaktion vor. — Wahrscheinlich ist LÖWENSTEIN, der die Adaptation nicht immer beachtete, teilweise dadurch zu seiner ersten Auffassung über eine angeblich sehr kurze (in den früheren Arbeiten) und nicht sehr konstante Latenzzeit gekommen.

DIE ROLLE MÄSSIGER VARIATIONEN DER LICHTINTENSITÄT BEI SEHR KURZER REIZDAUER

Um die Rolle mässiger Variationen des Reizlichtes festzustellen, wurde dessen Intensität teils voll verwendet, teils durch die Verwendung von dünnem Seidenpapier, das vor die Öffnung des Elektronenblitzreflektors gespannt wurde, auf etwa 25 % reduziert. Dabei zeigte sich gemäss Fig. 15, dass weder die Form noch die Amplitude der Kontraktion wesentlich verändert wurden.

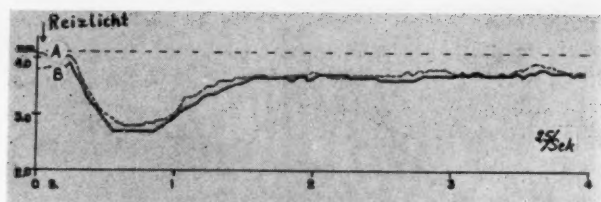


Fig. 15.

Zwei Pupillogramme derselben Versuchsperson. A (gestrichelt) ist mit einem Reizlicht aufgenommen worden, das 25 % schwächer war als bei B. Schwankungen dieser Grössenordnung sind bei Reizung durch Elektronenblitz ohne wesentlichen Einfluss.

HAUPTVERSUCHE

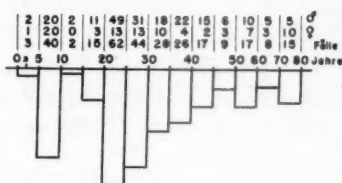
Mit der schon beschriebenen Methode wurden 300 Personen von verschiedenem Alter und Geschlecht untersucht. Es wurde dabei fast durchgehend das festgelegte Schema verwendet. Eine Ausnahme bilden gewisse Sondergruppen, in denen eine spezifische Belastung oder sonst eine besondere Variation der Versuchsbedingungen eingeführt wurde. Diese Spezialversuche werden zuletzt für sich beschrieben. Im übrigen ist folgendes zu bemerken.

Von ca. 350 Versuchen sind 58 aus verschiedenen Gründen als nicht brauchbar angesehen worden und deshalb teilweise oder vollständig ausgeschlossen worden. 20 von diesen ergaben die ersten Filme der Versuchsserie, die technisch weniger gut sind, teils wegen mangelhafter Schärfe, teils wegen falschen Lichtes, was bei diesem hochempfindlichen Filmmaterial sehr leicht vorkommt (s. »Spezielle Technik«). Bei den übrigen 38 zeigten sich Fehler der Einstellung (Pupillen nicht im Bildfelde) und der Schärfe, Augenbewegungen, falsches Licht und Augenkneifen.

Falsches Licht und Schärfefehler sind als Zeichen mangelnder Übung anzusehen. Praktisch kann man damit rechnen, dass etwa 5 % der Aufnahmen misslingen und wiederholt werden müssen. Die Einübung des Versuchsleiters dürfte 6–8 Wochen in Anspruch nehmen, wenn Instruktion gegeben werden kann, sonst

länger. U. a. dauert es gewisse Zeit, bis man das Arbeiten in absoluter Dunkelheit beherrscht, besonders die Kameraarbeit mit Einlegen und Ausnehmen der Filme nur mit Hilfe des Tastsinns. Die Dunkelkammerarbeit ist leichter zu beherrschen und wird nach 2–3 Tagen bemeistert.

Das Hauptmaterial umfasst 292 gesunde Versuchspersonen, nach Standardschema untersucht. Verwendet wurden nur Personen ohne grössere Anisometropien, obgleich solche an sich kaum eine Rolle spielen. Die Zusammensetzung des Materials wird in Tab. 1 gezeigt. Für den Initialdiameter und gewisse andere Werte ist ausser diesem Material auch der Anfangsteil von partiell brauchbaren Filmen benutzt worden.



Tab. 1. Alters- und Geschlechtsverteilung des Materials.

Das Aufnameschema ist auf Seite 47 beschrieben.

Nach der Entwicklung wurden die Filme in der absoluten Augenvergrößerung 10:1 ausgemessen. Die Werte wurden in Standardformulare eingeführt, die Kurven gezogen und die Messfaktoren für die Positionen 1–11 eingetragen.

In der Regel wurde nur das rechte Auge Bild für Bild ausgemessen, während beim linken 18–20 Werte genügten, um die Symmetrie der Pupillenbewegung festzustellen. Jeder Messwert wurde einzeln markiert, sodass die tatsächliche Unterlage der Kurve in dem Pupillogramm deutlich ersichtlich war gemäss Fig. 11. Diese Technik stammt von MACHMER. Fig. 16 zeigt vier normale Pupillogramme vom Verf. aufgenommen. Die einzelnen Messwerte wurden bei der Reproduktion nicht mitgezeichnet.

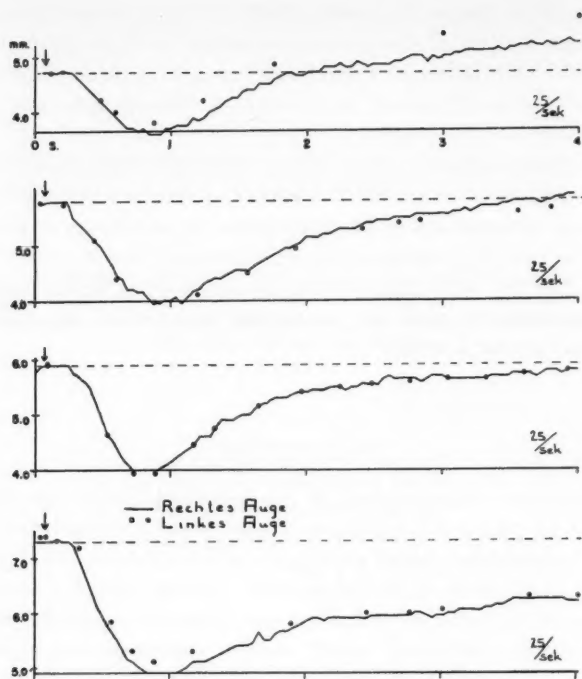


Fig. 16.

Vier verschiedene, normale Pupillogramme. Die vollgezogene Kurve bedeutet das rechte Auge. Die kleinen Kreise das linke Auge.

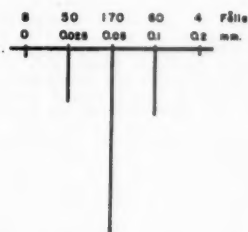
ERGEBNIS

Wenn nachher das Ergebnis der einzelnen Messfaktoren studiert wird, findet man folgendes:

1 und 2. Pupillenunruhe. Beobachtbar war mit unbewaffnetem Auge keine Pupillenunruhe nach Adaptation 10 min. bei der Grundbeleuchtung von 1,3 Lx.

Registriert wurde eine in der Regel unbedeutende und bisweilen, z. m. im Pupillogramme, fragliche oder unbefindliche Pupillenunruhe. Als Unruhe wurden nur die schnellen Variationen gerechnet, nicht die langsameren Schwankungen, die in der Dilationsperiode manchmal vorkommen (Fig. 17).

Stellen wir das Versuchsmaterial tabellarisch zusammen, finden wir folgende numerische Verteilung mit Bez. auf Grösse der Unruhe.



Tab. 2. Die Pupillenunruhe. Frequenzkurve für die Amplitude der Pupillenunruhe.

Wie man sieht, kommt eine Amplitude von $\pm 0,05$ mm am häufigsten vor. Die Frequenz der Schwankungen ist nicht mitstudiert worden. Dieselbe wechselt in den einzelnen Kurven innerhalb recht weiter Grenzen, doch meistens so, dass an sich schnelle

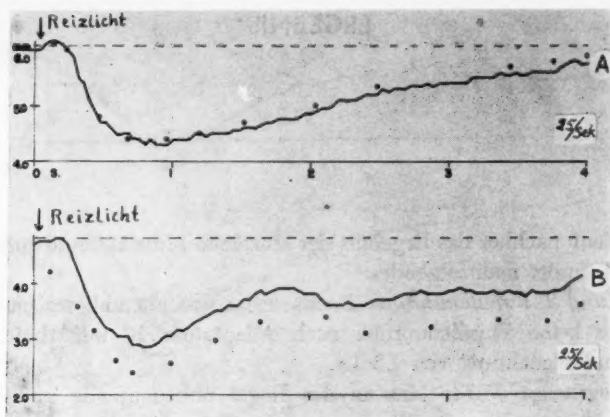


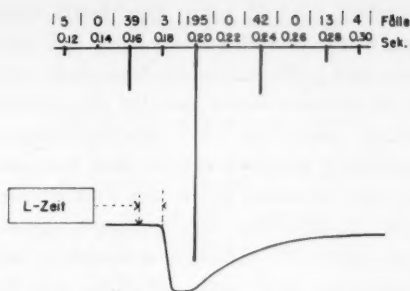
Fig. 17.

- A. Pupillenunruhe mit kleiner Amplitude und schnellen Schwingungen.
 B. Langsame Schwankungen.

Kontraktionen mehr oder weniger gehäuft auftreten. Die langsamen Schwankungen sind nicht besonders studiert worden. Sie unterscheiden sich von der Pupillenunruhe dadurch, dass sie eine weich abgerundete Wellenform besitzen (s. Fig. 17). Man könnte geneigt sein, die Pupillenunruhe als Schwankungen in der Struktur des Aktivitätsmusters im Kerngebiet anzusehen. Die langsamen Schwankungen umfassen sämtliche Durchmesser, was bei den schnellen nicht der Fall sein soll. Die Iris hat also möglicherweise eine nukleare Projektion ihrer Struktur, was auch durch einige Tatsachen der Pathophysiologie wahrscheinlich ist.

Im übrigen ist festzustellen, dass die Pupillenunruhe keine konstante ist. Sie schwankt bei demselben Individuum. Man sieht auch, dass die langsamen Schwankungen eine etwas grössere Amplitude haben als die eigentliche Pupillenunruhe.

Die Latenzzeit. Führt man das Material mit Bezug auf die Latenzzeit in eine Tabelle zusammen, erhält man eine Verteilung der Zeiten gemäss Tab. 3 (mit Kurve). Es ist zu sehen, dass der häufigste Wert bei 0,20 und auch der mittlere Wert etwa bei 0,20

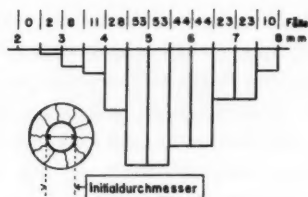


Tab. 3. Die Latenzzeit. Frequenzkurve der verschiedenen Zeiten.

liegt. Die kleinere Anhäufung von Werten bei 0,16 stammt von der jugendlichen Altersgruppe (0–18 Jahre), bei der eine Neigung zu kürzeren Reaktionszeiten festgestellt wurde. Im ganzen zeigt das Material denselben mittleren Wert wie das von MACHMER (und in seinen späteren Arbeiten auch LÖWENSTEIN): 0,20. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Methode des Verfassers im allgemeinen etwas zu niedrige Werte angibt, da der Reaktionsanfang manchmal in dem Intervall zwischen zwei Exponierungen liegt. Der berechnete mittlere Fehler der Filmmethode beträgt bei 25 Bildern pro Sekunde 0,02. Der wirkliche Fehler beträgt in der Praxis etwas mehr, da der erste Anfang einer beginnenden Kontraktion eventuell gegen Ende einer Einzelexponierung fällt und dann nicht bemerkt wird. Der empirische Fehler beträgt somit max. $-0,025$ Sek. Der berechnete Mittelwert von 303 Fällen beträgt 0,20, was einen tatsächlichen Mittelwert von 0,225 bedeuten würde. MACHMER findet 0,217. Dabei ist kein vollständiger Vergleich möglich, da MACHMER keine Frequenzkurve angibt. Dasselbe gilt von LÖWENSTEIN, dessen Werte aber grössere Variation zeigen, die durch seine niedrigere Aufnahmefrequenz und den nicht synchronisierten Reizanfang zu erklären ist. Auch wird die Zusammensetzung des Materials bezüglich Alterklassen nicht angegeben.

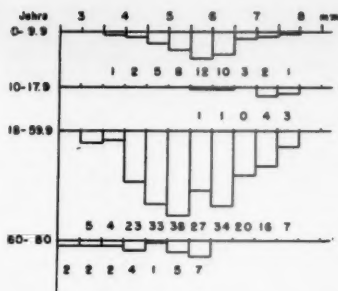
Der Initialdiameter. Die Methode des Verfassers gibt beim Ausmessen einen korrekten Initialdiameter innerhalb der Grenzen

der Messgenauigkeit ($\pm 0,25$ mm), falls keine wesentliche Unschärfe vorliegt, was in der Regel nicht der Fall war. Die Werte anderer Autoren sind nicht denen des Verfassers vergleichbar, da bei früheren Untersuchern weder auf eine abgestimmte, konstante Grundbeleuchtung, noch auf eine Adaptationsperiode vor der Aufnahme regelmässig geachtet wurde. Eine Frequenzkurve über die Variationen der normalen Werte des Pupillendurchmessers in einem grösseren Material hat der Verfasser nirgends gefunden. Tab. 4 gibt eine solche, wo sämtliche Aufnahmen unter möglichst gleichen Bedingungen und nach 10 Min. Adaptation zu der Grundbeleuchtung – wie oben schon beschrieben – aufgenommen worden sind.



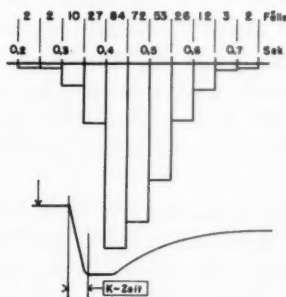
Tab. 4. Initialdurchmesser. Frequenzkurve der verschiedenen Initialdurchmesser nach 10 Min. Adaptation zu 1,3 Lx.

Es ist zu sehen, dass die Grenzwerte bei 2,5 und 8 mm liegen. Man könnte geneigt sein, diese grosse Variation als einen Ausdruck für die Altersverschiedenheiten der Versuchspersonen anzusehen, da alte Leute, wie bekannt, oft einen kleineren Pupillendurchmesser haben. Wenn wir aber Tab. 5 betrachten, welche die Altersverteilung des Durchmessers zeigt, sehen wir, dass diese Erklärung nicht ausreichend ist. Durchmesser unter 4 mm kommen im Alter unter 10 Jahren vor, und in der Altersgruppe 60–80 Jahre liegt das Häufigkeitsmaximum zwischen 5,5 und 6 mm. Zwar ist die Gruppe nicht gross genug, um als repräsentativ angesehen werden zu können (23 St.), aber sie gibt jedoch eine Tendenz an. Zusammenfassend kann man feststellen, dass niedrige Pupillendurchmesser schon im jugendlichen Alter und in den



Tab. 5. Altersverteilung der verschiedenen Initialdurchmesser, die gemäss Tab. 4 gewonnen worden sind.

mittleren Altersklassen vorkommen, und dass dies ein Ausdruck der individuellen Variation ist. Es gibt also Individuen mit Neigung zu grossen Durchmessern und solche mit Neigung zu kleinen, die sich zu beiden Seiten eines Mediums von etwa 5,5 mm gruppieren. Die Ursache hierzu dürfte wohl z. m. teilweise konstitutionell sein. — Wie wir sehen werden und wie oben schon berichtet wurde, zeigt die Pupille eines Individuums ausserdem gewisse langsame, rhythmische Schwankungen von verschiedener Frequenz (FRIBERGER 1903).



Tab. 6. Kontraktionszeit. Frequenzkurve der verschiedenen Kontraktionszeiten.

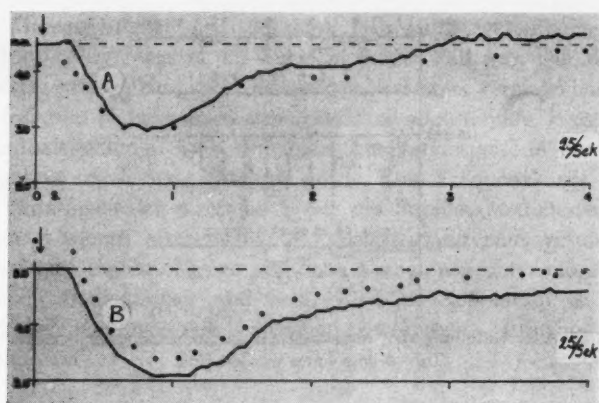


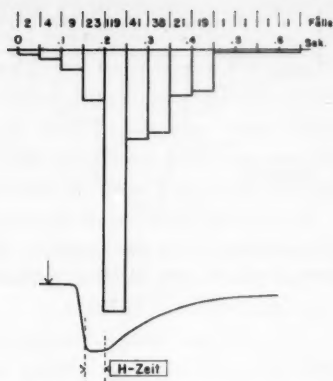
Fig. 18.

Konstante (A) und abnehmende (B) Kontraktionsgeschwindigkeit.

Die Kontraktionszeit ist ein Messfaktor, der schon LÖWENSTEIN beachtete und der im Vorstehenden definiert worden ist. Tab. 6 zeigt eine Frequenzkurve der Kontraktionszeiten zusammen mit einer graphischen Darstellung des Begriffes. Es ist zu sehen, dass die Kontraktionszeit durchschnittlich etwa 0,5 Sek. beträgt, und dass sie zwischen den Grenzen 0,7 und 0,2 schwankt, wobei Werte über 0,65 und unter 0,3 ungewöhnlich sind. Kurvenmässig ist dieser Wert nicht immer gut abgrenzbar. In manchen Pupillogrammen (Fig. 18 B) ist die Kontraktionsgeschwindigkeit eine abnehmende, wobei das Ende des Kontraktionsverlaufes schlecht dargestellt wird. Deshalb wird wahrscheinlich ein variables Zuviel von der s. g. Haltezeit mit zur Kontraktion gerechnet. Die Plusvariationen der Kontraktionszeit stören somit auch die Konstanz der Haltezeit.

Die Haltezeit. Eine Frequenzkurve über diesen Faktor wird in Tab. 7 gezeigt. Wir sehen ein ausgeprägtes Häufigkeitsmaximum bei 0,20–0,25 Sek. und eine Schiefheit der Kurve gegen höhere Werte (rechts). Die höheren Werte sind analog aufzufassen wie die Plusvariationen bei der Reaktionszeit, weil namentlich der Übergang von konstantem Durchmesser zu beginnender Dilata-

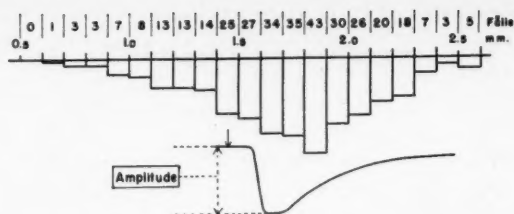
tion
läng
bare
zeit
als A
Rich
hat,
tech
Halt
Mess
spät
mess
An
reiz
ding
wie
selbe
sich
Vari
die C
den.
Initia



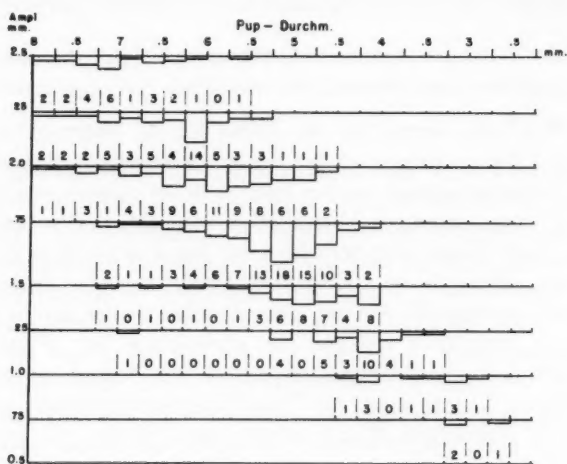
Tab. 7. Haltezeit. Frequenzkurve der verschiedenen Haltezeiten.

tion oft schwer abgrenzbar ist. Dabei ist die Neigung zu verlängerten Werten grösser als bei der Kontraktionszeit. Die scheinbaren Minusvariationen werden folglich in der gemessenen Haltezeit von einer grösseren Plusvariation verdeckt, und es entsteht als Ausdruck hierfür eine Schiefheit der Kurve in positiver (rechts) Richtung. Obgleich die Haltezeit wahrscheinlich eine Bedeutung hat, muss festgestellt werden, dass dieselbe in der Kurve messtechnisch manchmal weniger gut abzugrenzen ist. Weder die Haltezeit noch die Reaktionszeit eignen sich besonderes gut für Messungen. Dagegen ist die Reaktionsgeschwindigkeit, worauf später (s. Abgeleitete Werte) eingegangen werden soll, genauer messbar.

Amplitude. Die Amplitude der Pupille auf konstantem Lichtreiz bei verschiedenen Individuen unter den konstanten Bedingungen des Versuches, variiert nicht unwesentlich. Ebenso wie bei dem Pupillendurchmesser findet sich ausserdem bei demselben Individuum ein zeitlicher Wechsel, der weiter unten für sich beschrieben wird. Tab. 8 zeigt die Frequenzkurve für die Variation der Amplitude in dem Versuchsmaterial. Wir sehen, dass die Grenzwerte in mm zwischen 0,6 bis etwa 2,6 gefunden werden. Die relativen Variationen sind also etwas grösser als die der Initialdurchmesser (2,5–8 mm). Sie scheinen aber nicht allein von



Tab. 8. Amplitude. Frequenzkurve für die Amplitude der Lichtreaktion bei Reizung mit konstantem Reizlicht nach 10 Min. Adaptation zu 1,3 Lx. Siehe auch Tab. 18.



Tab. 9. Verteilung der verschiedenen Amplituden gemäss Tab. 8 auf verschiedenen Initialdurchmesser.

dieser Grösse abhängig zu sein. Wie Tab. 9 zeigt, ist die Variation des Durchmessers in jeder Amplitudenklasse nicht unbeträchtlich.

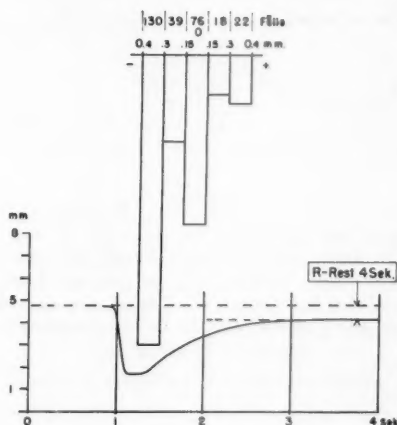
Restitutionszeit. Dieser Faktor war als ein Mass für die Restitutionsgeschwindigkeit gedacht. Da aber die Pupillogramme aus praktischen Gründen nicht sehr lang gemacht werden können und weil die Restitutionszeit manchmal länger ist als die normierte

4 Sekundendauer des Pupillogrammes, entsteht eine Zeitklasse, die schlechthin als > 4 bezeichnet werden muss. Reichlich die Hälfte der untersuchten Gruppe zeigt dieses Phänomen (169 St. von 292).

Die Restitutionszeit ist ein Messfaktor, der versuchsweise eingeführt wurde. Es zeigte sich, dass diese bei 4 Sekunden Aufnahmezeit kein sehr geeignetes Mass ist, um den Restitutionsvorgang zu charakterisieren. Eine Ergänzung ist der folgende Faktor, der als Restitutionsrest bezeichnet worden ist.

Restitutionsrest. Wie oben beschrieben, wird darunter der Unterschied zwischen Initialdurchmesser und aktuellem Durchmesser, der nach 4 Sekunden vorhanden ist, verstanden. Der Unterschied ist meistens negativ oder 0.

Er kann auch positiv werden, d. h. die Reaktion war überschüssig und es folgte eine Dilatation zu einem grösseren Wert als der Initialwert. Tab. 10 gibt eine Frequenzkurve über die Restitutionsreste des untersuchten Materials. Die Kurve umfasst 289 Fälle.¹ Davon sind 22 als wesentlich überschüssig anzusehen,



Tab. 10. Restitutionsrest nach 4 Sek. Verteilungskurve über den Restitutionsrest des Pupillendurchmessers in mm, 4 Sek. nach der Reizung.

¹ Drei fielen aus, weil die Versuchsperson zum Schluss die Augen kniff.

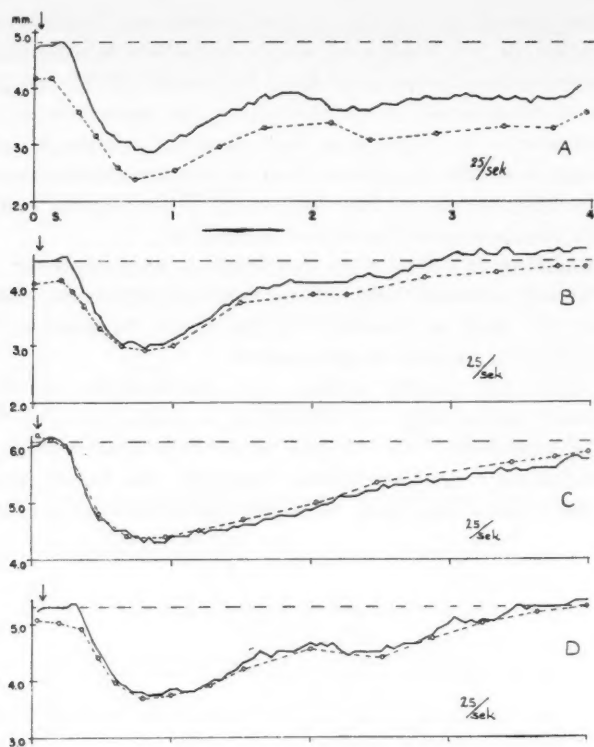


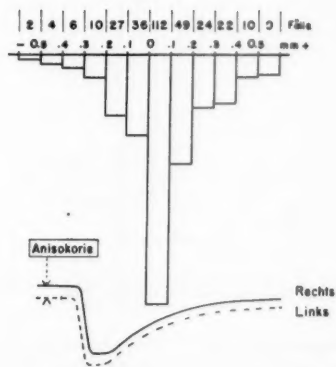
Fig. 19.

Verschiedene Typen von Anisokorie wie man sie in den Pupillogrammen findet. A ist die häufigste was den Typus betrifft, obgleich der Unterschied zwischen den beiden Augen meistens nicht so gross ist. B zeigt Ausgleich der Anisokorie während der Kontraktion. In C wird erst nach Ablauf der Kontraktion die Anisokorie manifest und in D verschwindet dieselbe mit dem Einsetzen der Reaktion.

während 133 (etwa 45%) als nach vier Sekunden einigermaßen normalrestituiert anzusehen sind. Man kann insofern behaupten, dass die Versuchszeit mit 4 Sek. etwas zu kurz gesetzt worden ist. Die Absicht des Verfassers war nämlich, eine solche Zeit zu wählen, in der mehr als 50% der Fälle eine Restitution zeigten.

Dies ist offenbar nur dann der Fall, wenn man die positiven Werte mitzählt. Der Verfasser hat die Versuchszeit nicht geändert, weil in gewissen abgeleiteten Faktoren (s. u.) recht taugliche Charakteristika für den Restitutionsverlauf gefunden worden sind.

Anisokorie. Die Anisokorie ist in dem Material als initiale Anisokorie gemessen worden. Offenbar fallen darunter Fälle, die rein anatomische Ursachen lokal in der Iris haben. Nach der Erfahrung des Verfassers ist das aber nicht die Regel, denn eine festgestellte Anisokorie kann wechseln, so dass der Durchmesser bei einer Gelegenheit rechts, bei anderen links, am grössten ist. Ferner stellt sich heraus, dass die Anisokorie während der Reaktion entweder unverändert bleibt, kleiner wird oder auch (rel. selten) erst während der Reaktion zum Vorschein kommt. Soweit man urteilen kann, sind die geringeren Grade der Anisokorie bedeutungslos. Fig. 19 zeigt die normal vorkommenden Typen. Tab. 11 gibt eine Frequenzkurve für die Anisokorie des



Tab. 11. Anisokorie. Frequenzkurve über die initiale Anisokorie.

untersuchten Materials. Von 306 untersuchten Fällen zeigten 190 St. keine durch die Filmmethode feststellbare Anisokorie. Andererseits kommen nicht unerhebliche Unterschiede auch in einem normalen Materiale vor. In der obigen Zusammenstellung

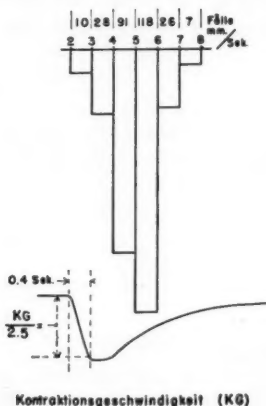
sehen wir, dass die Anisokorie 66 Mal oder in etwa 22 % der Fälle 0,25 mm oder mehr betrug.

Konzentrität. Dieselbe wird für sich (S. 92 ff.) besonders behandelt.

ABGELEITETE WERTE

Bei der Zusammenstellung des Materials findet man, dass gewisse Kenntnisse durch weitere Bearbeitung erreichbar sind.

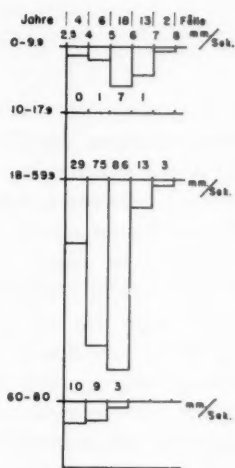
So lässt sich z. B. die Lebhaftigkeit der Pupillenreaktion durch die Schnelligkeit der Irisbewegung teilweise charakterisieren. Diese kann als Millimeter pro Sekunde angegeben werden, wenn



Tab. 12. Kontraktionsgeschwindigkeit. Frequenzkurve über die Kontraktionsgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit wurde über 0,4 Sek. gemessen und zu mm pro Sek. umgerechnet.

man über einen geeigneten Zeitabschnitt (0,2–0,4 Sek.) die Kontraktionsstrecke der Iris in der Kurve ausmisst und in mm pro Sekunde umrechnet. Tab. 12 zeigt eine Zusammenstellung von so gewonnenen Zeiten. Wie man sieht, ist die Variation beträchtlich – von 2–8 mm/Sek. Übereinstimmende Werte hat MACHMER

(1941) gefunden. Es beruht die Variation wahrscheinlich auf zwei Faktoren, nämlich der Amplitude und der Neigung zu einer mehr oder weniger schnellen Reaktion. Die Verteilung der Kontraktionsgeschwindigkeiten wechselt in verschiedenen Altersgruppen (Tab. 13). Die Verschiebung dürfte im wesentlichen auf ein gewisses Abnehmen des Initialdurchmessers zurückzuführen sein, aber auch eine zunehmende Alterswirkung anderer Art, eine »Altersträgheit«, ist wahrscheinlich, obgleich das Material nicht gross genug ist, um sichere Schlüsse zu erlauben.

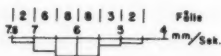


Tab. 13. Frequenzkurve über Altersverteilung der Kontraktionsgeschwindigkeiten gemäss Tab. 12.

Die individuelle Variation der Geschwindigkeiten kann am besten in einer homogenen Gruppe studiert werden, d. h. eine Gruppe von etwa gleichem Alter und mit derselben Empfindlichkeit. Als Kriterium für die letztere benutzte der Verf. Initialdurchmesser und Amplitude und verlangte annähernd gleichen ($\pm 0,25$ mm) Initialdurchmesser und gleiche ($\pm 0,1$) Amplitude. Wenn man eine solche Gruppe studiert, findet man, dass auch

da eine nicht unbeträchtliche Variation der Kontraktionsgeschwindigkeiten besteht, wie es Tab. 14 zeigt.

Dilatationsgeschwindigkeit. In derselben Weise wie die Kontraktionsgeschwindigkeit kann die Dilatationsgeschwindigkeit ausgemessen und als mm pro Sekunde berechnet werden. Man findet aber, dass dieser Wert unsicherer ist, da die Dilatation nicht so



Tab. 14. Frequenzkurve der Kontraktionsgeschwindigkeiten in einer homogenen Gruppe mit annähernd gleichem Initialdurchmesser und Amplitude.

markiert einsetzt und ausserdem oft unregelmässiger ist. Es scheint, als ob Nachschwankungen der Kontraktion auf Licht nicht ungewöhnlich sind. Das Phänomen hat wahrscheinlich mehr als eine Ursache und scheint teilweise cortical ausgelöst zu werden und mit dem Überraschungsmoment beim Einsetzen des Lichtreizes in Zusammenhang zu stehen. Namentlich bei Kindern, die wohl an sich reaktionslabiler sind, ist das Phänomen oft ausgeprägt und kann sich sogar bis zu anhaltender Sphinkterkontraktion steigern (Fig. 20 E). Von diesem Zustand gibt es Übergänge bis zur ungestörten Dilatation (Fig. 20 D, C, B) oder zur überschüssenden Dilatation mit Nachschwankung (20 A).

Die zentrale Auslösung des Phänomens — wenigstens in gewissen Fällen — lässt sich wahrscheinlich machen, wenn man die Aufnahme des Pupillogrammes wiederholt. Es ist anzunehmen, dass die Überraschung beim Lichtreiz das zweite Mal geringer sein wird. Im Pupillogramme finden wir, dass eine wesentliche Herabsetzung der »dilatatorischen Hemmung« oder »kontraktilen Nachschwankung« bei wiederholten Aufnahmen des Pupillogrammes zu beobachten ist. Fig. 21 zeigt wiederholte Aufnahmen von einem typischen Fall (Kinderpupillogramm) in Zeitfolge untereinander.

Obgleich das Phänomen der kontraktilen Nachschwankungen (ebenso wie die Pupillenunruhe und treppenförmige Dilatation) das Ausmessen einer repräsentativen Dilatationsgeschwindigkeit

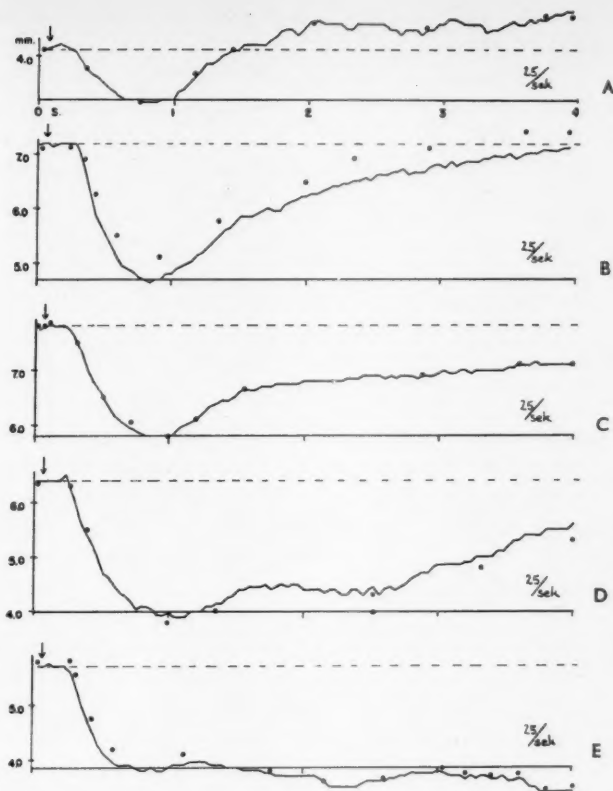


Fig. 20.

Fünf Pupillogramme mit verschiedenen Typen von Restitution (Dilatation).

schwieriger und unsicherer macht, soll doch betont werden, dass die meisten Fälle messbar sind. Ein Pupillogramm wie das auf Fig. 20 E ist eine Ausnahme und fand sich in dem ganzen Material nur ein Mal. Ein brauchbarer Anfangsteil der Dilatationskurve, der eine annähernde Bestimmung einer initialen Dilatationsgeschwindigkeit erlaubt, ist meistens vorhanden. Das Material wurde mit Bezug auf diesen Faktor ausgemessen und der Faktor berech-

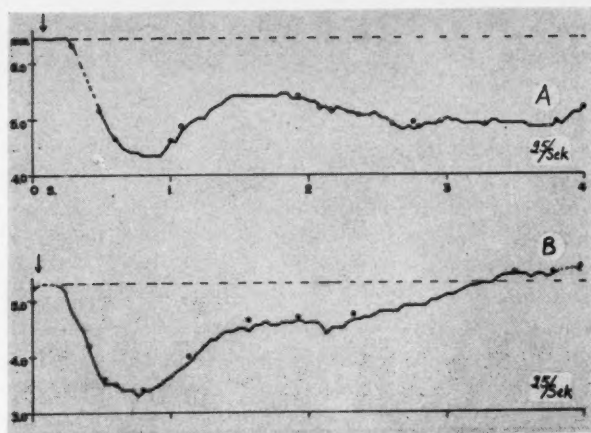
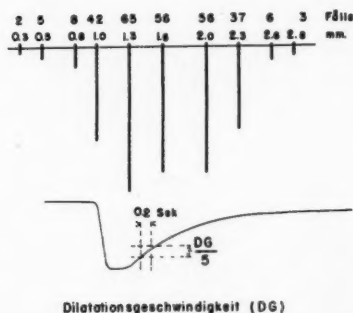


Fig. 21.

Abnehmende Dilatationshemmung (Kind 7 Jahre alt). A erste Aufnahme; B zweite.



Tab. 15. Dilatationsgeschwindigkeit. Frequenzkurve der Dilatationsgeschwindigkeiten über 0,2 Sek. gemessen und zu mm pro Sek. umgerechnet. Die Zahlen geben die Klassenmitte an.

net. Tab. 15 zeigt die Verteilungskurve der dilatatorischen Reaktionsgeschwindigkeit in einer Frequenzkurve.

Es ist zu beobachten, dass die häufigsten Geschwindigkeiten

zwischen
digke
Kont
Re
hält
schw
vier
schie
schw
von
sieht
eine
gleich
ident
grup
vier
schw

1
2
3
4

Wenn
keiten
denhe
ein m
seits
Um
hältnis
(Reak
stellt.
eine h
auch
5-6.
denz
3 ± 0
folgen

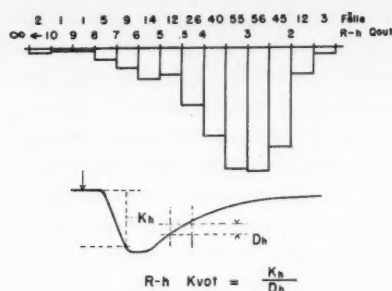
zwischen 1 und 2,3 mm/Sek. liegen. Die Dilatationsgeschwindigkeiten sind somit wesentlich geringer als die entsprechenden Kontraktionsgeschwindigkeiten (2–8 mm pro Sek.).

Reaktionsquotienten. Von besonderem Interesse ist das Verhältnis zwischen Kontraktionsgeschwindigkeit und Dilatationsgeschwindigkeit. LÖWENSTEIN (1933, 1942) hat behauptet, man könne vier Gruppen von Pupillogrammen unterscheiden, die durch verschiedene Kombination der Kontraktions- und Dilatationsgeschwindigkeiten gekennzeichnet sein sollen (s. Fig. 4). Wenn man von den Störungen durch dilatatorische Nachschwankungen absieht, hat der Verfasser aus seinem Material den Eindruck, dass eine solche Typengruppierung vorgenommen werden kann. Obgleich die Aufnahmebedingungen bei L. und dem Verfasser nicht identisch sind, so müsste der Verf. doch solche Konstitutionsgruppen in seinem Material finden. L. stellt als Haupttypen die vier möglichen Kombinationen der Extreme der Reaktionsgeschwindigkeiten nach folgendem Schema auf:

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1) Schnell (K) – Schnell (D) | K = Kontraktionsge- |
| 2) Langsam (K) – Langsam (D) | schwindigkeit |
| 3) Schnell (K) – Langsam (D) | D = Dilatationsge- |
| 4) Langsam (K) – Schnell (D) | schwindigkeit |
- (S. Fig. 4)

Wenn dem so ist, muss der Quotient der Reaktionsgeschwindigkeiten für die Gruppen 3 und 4 eine grosse numerische Verschiedenheit aufweisen. In den Gruppen 1 und 2 soll der Quotient ein mittlerer sein aber zwei Typen aufzeigen: einen mit beiderseits niedriger und einen mit beiderseits hoher Geschwindigkeit.

Um diese Fragestellung zu beleuchten, hat der Verf. das Verhältnis Kontraktionsgeschwindigkeit/Dilatationsgeschwindigkeit (Reaktionsquotienten) berechnet und als Frequenzkurve aufgestellt. Tab. 16 zeigt diese Kurve. Man sieht darin, wie das Material eine beträchtliche Variation der Werte zeigt und möglicherweise auch eine Andeutung zu einem zweiten Maximum in der Klasse 5–6. Ferner ist die Kurve schief, was auf eine separate Tendenz deutet. Analysiert man das Material mit dem Quotienten $3 \pm 0,25$ mit Bezug auf Reaktionsgeschwindigkeiten, findet man folgendes Bild. (Tab. 17.)

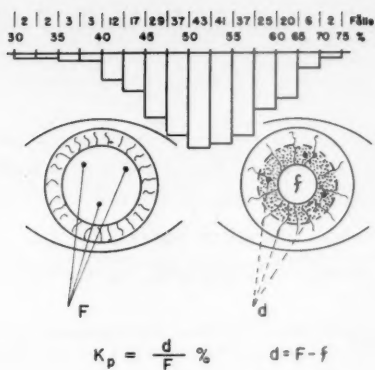


Tab. 16. Geschwindigkeitsquotienten. Frequenzkurve für die Geschwindigkeitsquotienten.



Tab. 17. Frequenzkurven für Kontraktions- und Dilatationsgeschwindigkeiten in einer Gruppe, wo der Geschwindigkeitsquotient gemäss Tab. 16 $3 \pm 0,3$ betrug.

Man beobachtet beim Aussuchen des Materials, dass die schnelle Gruppe am häufigsten mit grossem Initialdurchmesser und grosser Amplitude vereint ist. Dies ist schon oben demonstriert worden (s. Tab. 9). Eine Analyse des vorliegenden Materials hat andererseits ergeben, dass die Kontraktionsgeschwindigkeit in einer möglichst homogenen Gruppen eine selbständige – nach Ansicht des Verf. konstitutionell bedingte – Variation aufweist. Es sieht daher aus, als ob die Einteilung in 4 Gruppen berechtigt sei. Fraglich bleibt jedoch, ob die Tendenz in einer richtigen Weise gemessen worden ist, wenn als Mass die absolute Geschwindigkeit des Pupillenrandes benutzt wird. Diese Grösse ist nämlich sowohl von der zurückzulegenden Strecke (Amplitude), als auch von dem Initialdurchmesser abhängig. Vielleicht wird die Kontraktion durch die pro-

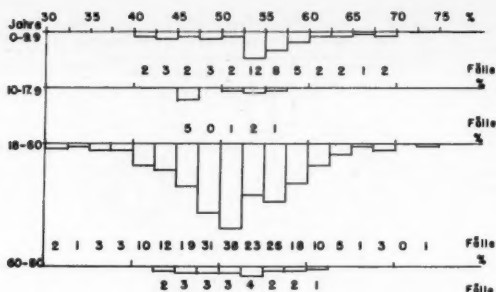


Tab. 18. Kontraktionsprozent oder relative Kontraktion. Frequenzkurve der Kontraktionsprozent.

zentuelle Abblendung beeinflusst. Um dieses zu prüfen, wurde die prozentuelle Flächenverminderung ($\frac{f}{F}$ Tab. 18) für das

ganze Material berechnet und zwar nach der Formel $\frac{2 ai - a^2}{i^2}$, wo i = Initialdurchmesser und a = Amplitude ist. Eine derartige Frequenzkurve zeigt die prozentuelle oder relative Kontraktion, namentlich das Verhältnis der Kontraktionsfläche zur Initialfläche in Prozent ausgedrückt. Dieser Faktor wird hier *Kontraktionsprozent* genannt.

Wie wir aus der Tabelle sehen, zeigt dieser Faktor die gleiche grosse Variation wie der Geschwindigkeitsquotient. Wahrscheinlich sind also die Variationen der Kontraktionsgeschwindigkeit auf verschiedene Lichtempfindlichkeiten, die auch nach ausreichender Adaptation vorhanden bleiben, zurückzuführen. Eine vollständige Analyse der Abhängigkeit der aufgestellten Messfaktoren voneinander ist zur Zeit nicht durchführbar, erstens weil das Material zu klein ist und zweitens weil die optimale Zweckmässigkeit der gewählten Faktoren noch nicht bewiesen erscheint. Die vorliegenden Untersuchungen sprechen jedoch nicht dagegen, dass die vier- von LÖWENSTEIN aufgestellten Typen existieren.



Tab. 19. Altersverteilung der Kontraktionsprozente gemäss Tab. 18.

Dass die relative Kontraktion wahrscheinlich einen selbständigen Faktor darstellt, geht aus der Tab. 19 hervor, die Frequenzkurven über die Altersverteilung dieses Faktors zeigt. Es ist darin zu sehen, dass diese Verteilung in den verschiedenen Altersgruppen ungefähr gleich ist und folglich von dem Initialdurchmesser und der Amplitude, die eine gewisse Alterskorrelation aufweisen, ziemlich unabhängig ist. Dass die relative Kontraktion nicht allzu eng an die Kontraktionsgeschwindigkeit gebunden ist, geht aus der Tab. 14 hervor. Trotz annähernd konstanter, relativer Kontraktion bei einer homogenen Gruppe schwankt die Kontraktionsgeschwindigkeit nicht unbeträchtlich (7,5 bis 4,5 mm).

Als letztes in dem Abschnitt der abgeleiteten Faktoren sei die *Dilatationsgeschwindigkeit* und die *Restitution* genannt. Wie bereits gesagt (s. Tab. 10), geschieht die Restitution verschiedenartig und kann, binnen der 4 Beobachtungssekunden, unvollständig oder überschüssend sein, so dass ein positiver oder negativer Restitutionsrest entsteht.

Da der Verlauf einer normalen Restitution verschieden ist, kann man denselben nicht einfach mit nur einer Zahl charakterisieren. Der ungestörte Verlauf scheint viel Ähnlichkeit mit einer Parabelkurve zu haben und könnte, von rechts nach links gelesen, gut die Bahn eines fallenden Körpers mit Vorwärtsbewegung darstellen, wobei allerdings die flachere und also langsamere Restitution durch einen Körper mit schnellerer Vorwärtsbewegung dargestellt wird, während die schnelle Restitution einen fallenden

Pupill

Körp
müss
deste
mung
durch
durch
des P
Um
Verla
ausdr
schon
Als v
dritte
Restit
80 %
20 %
Tab
tionsre
Mass
Ähnlic
gering
Messw
Fert
der G
also d
restitu
75 % ü

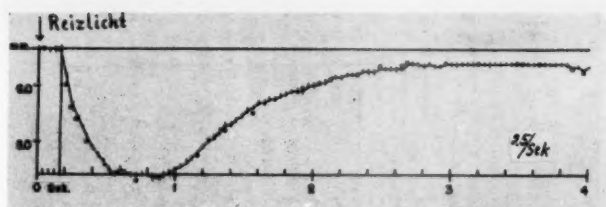


Fig. 22.

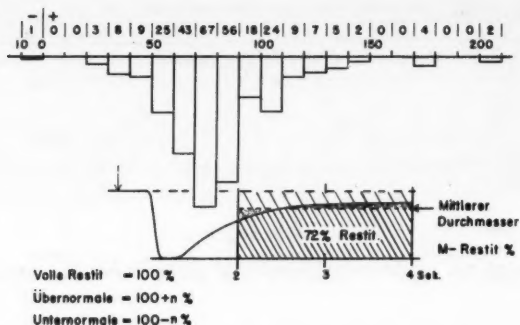
Pupillogramm mit regelmässiger, annähernd parabolischer Restitutionskurve.

Körper mit langsamerer Vorwärtsbewegung als Generatrix haben müsste (Fig. 22). Es scheint, als ob dieser Verlauf durch mindestens drei Faktoren verändert werden kann. Erstens eine Hemmung, die schon oben beschrieben wurde (s. Fig. 21). Zweitens durch eine Neigung zu treppenförmigem Verlauf und drittens durch die Pupillenunruhe und die physiologischen Schwankungen des Pupillendurchmessers.

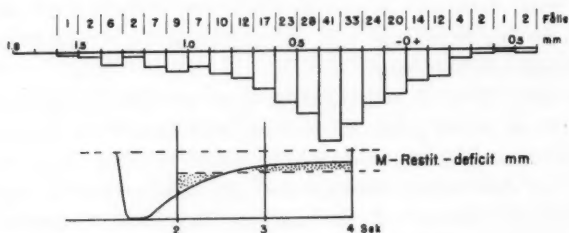
Um trotz dieser Schwierigkeiten doch die Verschiedenheit des Verlaufes in einem grösseren Material tabellarisch und quantitativ ausdrücken zu können, sind mehrere Faktoren nötig. Zwei wurden schon mit dem Restitutionsrest und der Restitutionszeit gegeben. Als weiterer Faktor ist die mittlere Restitution während der dritten und vierten Sekunde berechnet worden. Dabei ist die volle Restitution zum Anfangsdurchmesser gleich 100 gesetzt worden. 80 % bedeutet also einen Mangel der mittleren Restitution um 20 % und 120 ein Überschossen derselben um gleich viel.

Tab. 20 a zeigt die Frequenzkurve für den mittleren Restitutionsrest als relativen Wert, während 20 b dasselbe in absolutem Mass (mm) wiedergibt. Wir sehen, dass die beiden Kurven grosse Ähnlichkeit miteinander haben, und dass ein relatives Mass die geringsten Variationen gibt und darum vermutlich den besseren Messwert darstellt.

Ferner bemerken wir, dass mehr als 80 % aller Werte ausserhalb der Grenzen $100 \pm 10 \%$ liegen. Eine langsame Restitution ist also die Regel. Auch wenn wir die überschüssenden Werte als restituiert ansehen, bleibt eine nicht restituierte Anzahl von etwa 75 % übrig.



Tab. 20 a. Restitutionsprozent. Frequenzkurve über die relative Restitution als Prozent restituierte Fläche gemessen.



Tab. 20 b. Restitutionsdefizit. Frequenzkurve über das Restitutionsdefizit.

Es ist dies eine Tatsache, die von früheren Untersuchern nicht sehr beachtet wurde, wahrscheinlich deshalb, weil sich niemand eingehend um die Restitution gekümmert hat.

Individuelle Konstanz der Pupillogramme. Frühere Untersucher (LÖWENSTEIN, MACHMER) betonten die individuelle Konstanz des ungestörten Pupillogrammes bei gleichbleibenden Aufnahmebedingungen. Die Variationen findet L. bei pathologischen Fällen (Lues, Schizophrenie). Um diese Angaben zu prüfen, hat der Verf. wiederholte Versuche mit denselben Personen angestellt. Dabei ergab sich folgendes. Wird die Untersuchung nach kurzem Zeitintervall wiederholt, ist die Übereinstimmung im allgemeinen

Einfach
suchsp

sehr g
versch
isomor
lange
wird d
viduell
(Isomo
sonen
wechs
der Ve
nimmt
anisoto
eine re
das di
zeichne
Umg
Pupillo

6 — Peter

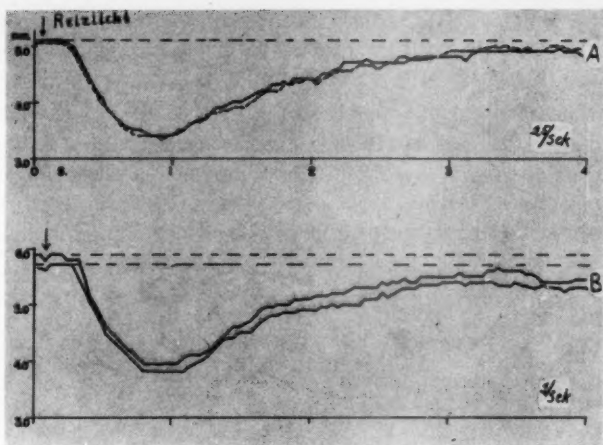


Fig. 23.

Einfache Wiederholung des Pupillogrammes bei zwei verschiedenen Versuchspersonen (A u. B). Der Zeitabstand zwischen den beiden Kurven ist für jede Person etwa 5 Min.

sehr gut. Möglicherweise kann der initiale Durchmesser etwas verschieden sein; die Kurven laufen aber konform und sind isomorph, meistens auch isotop (Fig. 23 A u. B). Wenn dagegen lange Zeit (Wochen – Monate) zwischen den Aufnahmen vergeht, wird die Konstanz viel geringer. Dabei ist es so, dass ein individueller Stabilitätsfaktor in Erscheinung tritt. Die Konstanz (Isomorphie und Isotopie) war bei einem Teil der Versuchspersonen weit besser als bei anderen, bei denen sie beträchtlich wechselte (Fig. 24 A u. B, C u. D). Auf Grund der Kenntnisse, die der Verf. über die Persönlichkeit seiner Versuchspersonen hat, nimmt er an, dass die anisomorphen (und gleichzeitig meist auch anisotopen) Pupillogramme von Menschen gewonnen werden, die eine recht wechselnde psychische Kondition aufweisen. Es sind das die Leute, die man auf Französisch als »journaliers« bezeichnet.

Umgekehrt sind diejenigen, die ein wenig veränderliches Pupillogramm aufweisen, wie es scheint, bei denjenigen Menschen

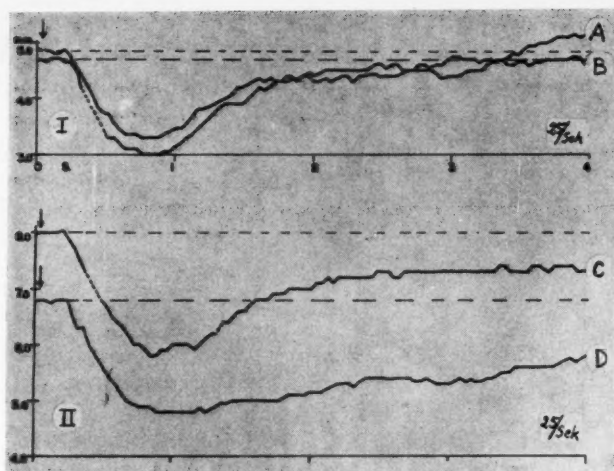


Fig. 24.

Pupillogramme von zwei Versuchspersonen (I und II). Der Zeitabstand zwischen A u. B bzw. C u. D beträgt einen Monat.

zu finden, die eine gute psychische Konstanz besitzen. — Die Verhältnisse sind mit diesen preliminären Feststellungen keineswegs geklärt, aber die Untersuchungslinie über die Zeitstruktur auf längere Sicht erscheint wichtig. Eine Verschiedenheit darin kann unter Umständen einen aufklärenden Faktor für die Unterscheidung zwischen Reaktionstypen im Pupillogramme bedeuten. Es ist von vorneherein nicht wahrscheinlich, dass ein momentanes Zustandsbild dazu genügend wäre.

In der vorhergehenden Schilderung ist klargelegt worden, dass befriedigende Pupillogramme mit einer binokulären Filmmethode auf 16 m/m Film bei Infrarotbeleuchtung gewonnen werden können. Die Einzelheiten der Technik für ein normales Material und für spezielle Verhältnisse (Psychiatrie) werden im Abschnitt »Spezielle Technik« beschrieben.

Die erhaltenen Befunde deuten darauf hin, dass mindestens vier Haupttypen unterschieden werden können. Wieweit die pupillographischen Kriterien zuverlässig sind und Aufschlüsse über den

jeweiligen Konstitutionstyp geben, muss durch weitere Arbeiten zusammen mit einem Psychiater von Fach untersucht werden. Eine vertiefte Untersuchung über die individuelle Konstanz scheint dabei in erster Linie geboten neben dem Aufbringen eines grossen Normalmaterials zur Ergänzung des hier zusammengeführten Typmaterials, das im Grunde nur gross genug ist, um die Brauchbarkeit der angewandten Methode zu erweisen, und darüber hinaus gewisse Richtlinien anzudeuten.

SPEZIELLE BELASTUNGSVERSUCHE

VERSUCHE MIT ALKOHOL

Um die Eigenschaften des Pupillogrammes und die Natur der pupillographischen Variationen eingehender zu studieren hat der Verfasser einige Belastungsversuche in kleinen Serien (12–14 Fällen) angestellt.

Begonnen wurde mit *Alkoholbelastung*. Die Alkoholversuche wurden folgendermassen durchgeführt. Die Versuche wurden um 19 Uhr begonnen. 2–4 Personen wurden nacheinander untersucht. Der Alkohol wurde als eisgekühlte »drinks« zusammen mit Fruchtsaft und einigen Salzmandeln der Versuchsperson geboten. Der Alkoholgehalt in den Getränken betrug ziemlich genau 20 Vol. %.

Jede Versuchsperson bekam während 20 Min. eine Quantität von 300–400 gr, wodurch ein Alkoholgehalt im Blute von 0,75–1 ‰ erreicht wurde. Eine Bestimmung im Blute wurde nicht ausgeführt, die Berechnung des Blutgehaltes wurde gemacht unter Benutzung des reichlichen schwedischen Erfahrungsmateriales über den Zusammenhang zwischen getrunkenen Menge und Alkoholgehalt im Blute (WIDMARK).

Von jeder Versuchsperson wurde zuerst ein normales Pupillogramm aufgenommen, worauf die Getränke verabreicht wurden. Eine Stunde nach der Alkoholzufuhr (gemessen von der Mitte der 20 Min.-Periode) wurde ein zweites Pupillogramm aufgenommen. Die Versuchsreihe umfasst nur zehn taugliche Versuche, da zwei Versuchspersonen bei der zweiten Aufnahme die Augen nicht still hielten. Unter den zehn zeigten zwei keine merkbare Veränderung. Die Pupillogramme waren isomorph und isotop. Von den übrigen acht zeigten zwei Pupillenerweiterung und entsprechende Anisotopie, die sich wie eine Parallelverschiebung des Pupillogrammes nach oben darbot. Diese zwei waren nicht an Alkohol gewöhnt.

Von den sechs übrigen haben sich zwei einer grösseren Belas-

Pupill

tung
angen
durch
treten
änder
eine V
topie

Vier
Menge
tion d
deutlic
Kurve
die pro
d. h. d
die K
5 mm/
verzög
auf da
mein g

Um d
die bes
mit Sti

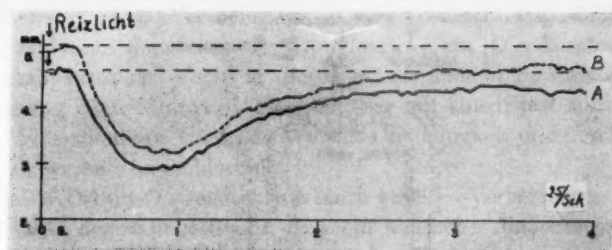


Fig. 25.

Pupillogramme derselben Versuchsperson: A vor, B eine Stunde nach dem Genuss von 70 gr Alkohol auf 20 % verdünnt.

tung unterworfen, so dass der Alkoholgehalt des Blutes mit $2,5\text{‰}$ angenommen wurde und der Versuch nur mit Schwierigkeit durchzuführen war, weil ein ausgeprägter Rauschzustand eingetreten war. Trotz dessen zeigten sich keine wesentlichen Veränderungen des Pupillogrammes (Fig. 25 a und b), sondern nur eine Veränderung des Durchmessers der Pupille und eine Anisotropie der Kurve aber keine Anisomorphie.

Vier Versuchspersonen tranken gewohnheitsgemäss mässige Mengen Alkohol. Diese vier Fälle zeigten eine umgekehrte Reaktion der Pupille und des Pupillogrammes. Die Pupille wurde deutlich enger, und ausserdem konnte eine Anisomorphie der Kurve beobachtet werden und zwar so, dass die Amplitude und die prozentuelle Verminderung der Pupillenfläche grösser wurden, d. h. die Empfindlichkeit wurde grösser. Gleichzeitig nahm auch die Kontraktionsgeschwindigkeit der Iris etwas zu (von 4 bis 5 mm/Sek.), während die Dilatation entweder unbeeinflusst oder verzögert war. Diese Beobachtungen richten die Aufmerksamkeit auf das Studium derartiger Fälle, erlauben aber keinerlei allgemein gültige Schlüsse.

VERSUCHE MIT STICKOXYDUL

Um den Rauscheffekt auf den Pupillarreflex unter Bedingungen, die besser kontrollierbar sind, zu studieren, wurden auch Versuche mit Stickoxydul angestellt. Verwendet wurde dabei ein Gemisch

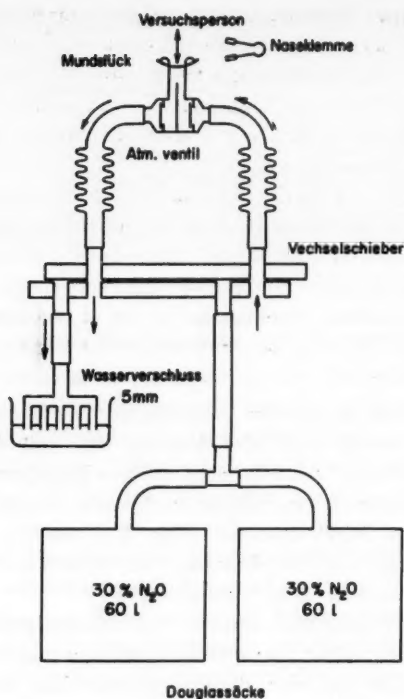


Fig. 26.

Versuchsschema bei den Stickoxydulversuchen.

von 30 % N₂O und 80 % von einem Luft-Sauerstoffgemisch mit etwa 30 % Sauerstoff. Fig. 26 zeigt die Versuchsanordnung schematisch. Die Versuchsperson war für die Aufnahme vorbereitet und Kopf und Augen waren korrekt eingestellt. Geatmet wurde durch ein Mundstück (ähnlich wie bei der Bestimmung des Grundumsatzes), und die Nase war durch eine Klemme verschlossen. Die Versuchsperson atmete die normale Atmosphäre des Zimmers. In einem gewünschten Augenblick konnte schnell auf das Oxydulgemisch umgeschaltet werden. Das Gemisch wurde vor jedem Versuch hergestellt und in zwei grossen Douglassäcken

aufb
Atm
gesc
schä
ten V
Fehl
Da
30 %
entst
Vers
In
durch
über
fast
gram
weser
4 Fäl
Kurv
Besch
zuste
(-0,2
änder
identi
lich.
trächt
von 2
eigene
Das

kann
kosem

Die
men c
schen
Stütze
Patient

aufbewahrt. Die Versuchsperson atmete durch ein übliches Atmungsventil den Inhalt der Douglassäcke ein. Die Ausatmung geschah durch das Ventil in die freie Luft aber unter Zwischenschaltung eines Multipel-Wasserschlosses mit einem fast konstanten Widerstand von c:a 5 mm Wasser. Undichtigkeit und ähnliche Fehler waren ausgeschlossen.

Das N_2O -Luft- O_2 -Gemisch war nach etlichen Vorversuchen mit 30 % N_2O derart abgestimmt, dass ein deutlicher Rauschzustand entstand. Dieser konnte nicht wesentlich vertieft werden, ohne die Versuche zu riskieren.

Insgesamt wurden 11 Versuche an 11 verschiedenen Personen durchgeführt. Das Ergebnis stimmte mit den Alkoholversuchen überein. 5 der Fälle zeigten eine Erweiterung der Pupille bei fast proportionaler Vermehrung der Amplitude. Die Pupillogramme blieben daher isomorph, und die Änderung hatte im wesentlichen den Charakter einer Parallelverschiebung nach oben. 4 Fälle zeigten eine Verengung und sonst eine Isomorphie der Kurve. 2 Fälle verliefen sowohl isomorph wie isotop. Eine sichere Beschleunigung der Kontraktionsgeschwindigkeit war nicht festzustellen. In 2 der 4 Fälle war die Verengung unbedeutend ($-0,2$ mm). Schliesslich waren 2 Versuche überhaupt ohne Veränderung in dem Pupillogramme, so dass die zwei Kurven fast identisch waren. — Das Ergebnis ist im Grunde recht erstaunlich. Es handelt sich doch um einen Rauschzustand, der als beträchtlich bezeichnet werden muss und etwa gleich der Wirkung von 2–2,5 ‰ Alkohol im Blute gesetzt werden kann (nach eigener Erfahrung und Angaben der Versuchspersonen).

Das Fehlen einer wesentlichen Wirkung auf den Pupillenreflex kann vielleicht als signifikativ für das Angriffsniveau eines Narkosemittels im Zentralnervensystem angesehen werden.

PUPILLOGRAMME NACH SCHLAFMITTELEINNAHME

Diese Untersuchung ist durch das freundliche Entgegenkommen des Herrn Prof. Erik Essen-Möller der hiesigen Psychiatrischen Klinik möglich gemacht. Sie wurde mit der wertvollen Stütze von Dr. Werner Silfverskjöld und unter Einwilligung der Patienten durchgeführt.

Um ein weiteres Vergleichsmaterial in der Reihe Alkohol – Stickoxydul zu bekommen, wurden auch Pupillogramme von Patienten unter Schlafmitteleinwirkung studiert. Untersucht wurden dabei Patienten aus der Psychiatrischen Klinik in Lund. In dieser wird für gewisse Fälle eine Schlafmittelkur verwendet. Studiert wurden 14 solche Patienten, bei denen am Tage vor dem Einsetzen der Schlafmittelverabreichung zuerst immer ein normales Pupillogramm aufgenommen wurde. Die Verabreichung dauerte eine Woche. Während dieser Zeit bekam der Patient Schlafmittel in folgender Menge gegeben: Diemalnatr. 1,5 gr + Pentymal 0,6 gr während 24 Std. in 6 Dosen verabreicht.¹ Die Patienten waren durchweg leichtere Fälle von nervösen Störungen. Diagnostisch handelte es sich um Neurosen von mässiger Intensität.

Die Aufnahme des Pupillogrammes geschah am zweiten oder dritten Tage nach Beginn der Behandlung, wenn die Schlafmittelwirkung ihren Höhepunkt erreicht hatte. Es war am Patientenmaterial deutlich zu beobachten, dass ein wesentlicher Unterschied in der Wirkung bestand. Einige – und zwar die meisten – wurden exzitiert und redselig, während andere sehr schläfrig waren und wie Schlaftrunkene der Umwelt und Versuchssituation recht gleichgültig gegenüberstanden.

Ein Zusammenhang zwischen dem Aussehen des Pupillogrammes und der verschiedenartigen Reaktion war nicht festzustellen. Die Pupillogramme zeigten vor und während der Schlafmittelwirkung dieselben Verschiedenheiten, die nach Einwirkung von Alkohol und Stickoxydul festgestellt wurden, nämlich eine Pupillenverengung oder Pupillenerweiterung nebst proportionaler Veränderung der Amplitude. Eine veränderte Reaktionsgeschwindigkeit konnte nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Von 14 Fällen zeigten 8 eine initiale Pupillenverengung von durchschnittlich 0,83 mm und Grenzwerten von 0,65 und 1 mm. 6 St. zeigten eine Pupillenerweiterung von durchschnittlich 0,6 mm und mit Grenzwerten von 0,4 und 1,2 mm. Einmal war die Pupillenveränderung latent, sodass die Initialdurchmesser gleich, die Pupillogramme

¹ Diemal = Barbitol (Merck).

Pentymal = Amobarbital (Merck).

Pupils
teils

aber
entfe

Ku
ande
gute
und
such
oder
werd
einer
wurd

Mit
Stick
wend

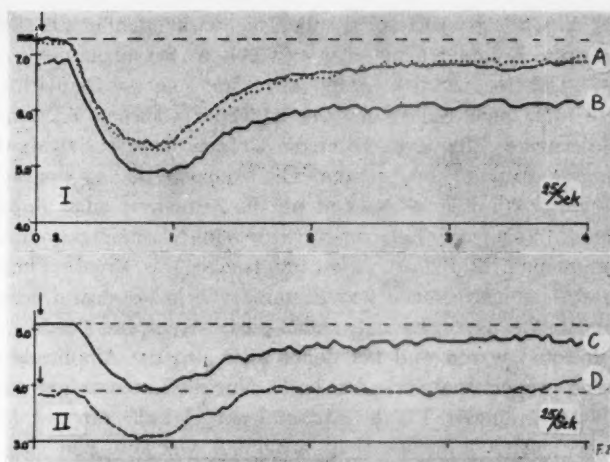


Fig. 27.

Pupillogramme von zwei verschiedenen Versuchspersonen, teils ohne (B u. C), teils mit (A u. D) Schlafmitteleinwirkung. Die erste Schlafmittelkurve A ist nach einem Intervall von 5 Minuten wiederholt worden.

aber nach der Reizung um durchschnittlich 0,3 mm voneinander entfernt waren.

Kurven, die von ein und demselben Patienten an zwei aufeinander folgenden Tagen aufgenommen wurden, zeigten eine sehr gute Übereinstimmung. Im übrigen waren die Unterschiede vor und nach der Behandlung wesentlich grösser als bei den Versuchen mit Alkohol oder Stickoxydul. Ob dies durch den Patienten oder das gebrauchte Mittel bedingt wird, kann nicht entschieden werden. Fig. 27 zeigt zwei typische Schlafmittelfälle, von denen einer (27 A) an zwei auf einander folgenden Tagen untersucht wurde.

ANOXIEVERSUCHE

Mit derselben Versuchsanordnung (s. Fig. 26) wie bei den Stickoxydulversuchen wurden Anoxiebelastungen angestellt. Verwendet wurde zuerst 8% O₂ in N₂, später, als sich gezeigt

hatte, dass 8% gewisse anhaltende Nachwirkungen in der Form von Kopfweh und einem leichten Übelsein hervorriefen, wurde der O_2 -Gehalt auf 10% gesteigert. Ein solches Gemisch erzeugte in keinem Falle Unbehagen, weder während noch nach dem Versuche. Eine Zyanose ersten Grades (nach HALDANES Bezeichnung) war zu beobachten. Die Anoxiebelastung erstreckte sich über 8 Minuten + die Zeit für die Aufnahme eines Pupillogrammes. Vor jeder Belastung wurde ein Normalpupillogramm aufgenommen. 11 Fälle wurden untersucht. Das Ergebnis dieser Anoxiebelastungsversuche war dasselbe wie bei den drei vorhergehenden Gruppen. Es entstanden fast isomorphe Kurven, die nur anisotrop waren und bei denen sich also die Amplitude annähernd proportional verändert hatte. Nur die Latenzzeiten waren vielleicht verlängert. Da das Material nur 11 Fälle umfasst, kann hierüber nichts mit Sicherheit ausgesagt werden. Von den 11 Fällen zeigten 5 eine initiale Kontraktion, die übrigen 6 eine Dilatation. Die Dilatation war in einem Falle latent und wurde erst nach Einsetzen der Lichtreaktion deutlich.

Die in den obigen Versuchsgruppen gefundene Konstanz der Form des individuellen Pupillogrammes trotz wesentlicher und teilweise recht spürbarer Belastungen ist auffallend, besonders im Hinblick auf die relativ grossen Veränderungen, die sonst in den Pupillogrammen gefunden werden können (s. Fig. 24 c u. d). Vermutlich können besondere Umstände den Reaktionstypus des Individuums beeinflussen, und deren Wirkung äussert sich u. a. in dem Pupillogramm. Als Beispiel hierfür werden Pupillogramme von zwei Fällen abgebildet (Fig. 28 A + B u. A + B + C). Es handelt sich bei A und B um eine Person mit einem diagnostisiertem Gelenkrheumatismus. In diesem Falle waren die Kurven atypisch mit geringem Anfangsdurchmesser und einer kleinen Amplitude nebst deutlich überschüssender Restitution. Die zweite Kurve, die einige Tage nach der ersten gemacht wurde, war fast identisch mit der ersten. Im zweiten Falle handelt es sich um einen Fall mit Asthmaneigung. Bei der ersten Aufnahme (27 A) war der Betreffende in schlechtem Zustand und fühlte sich müde ohne direkte Beschwerden zu haben. Im Laufe von etwa 18 Tagen besserte sich der Zustand wesentlich. Gleichzeitig zeigten die Pupillogramme eine Veränderung (Fig. 28 B u. C).

a. Pu
23 Ja

b. P
Kurve
wenig
stand

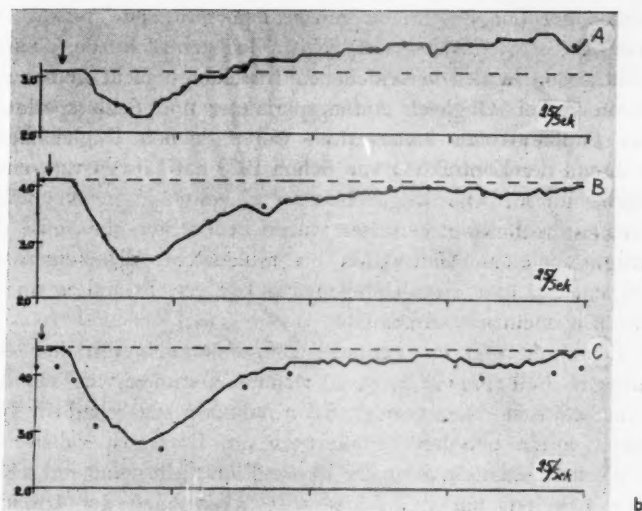
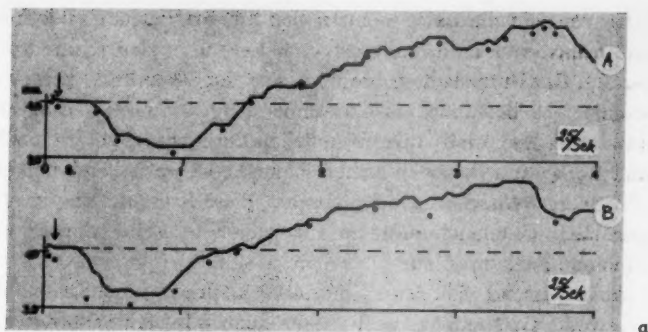


Fig. 28.

a. Pupillogramme einer Versuchsperson, die eine Polyarthrits hatte. Alter 23 Jahre. Die Kurven A und B sind an zwei verschiedenen Tagen aufgenommen worden.

b. Pupillogramme einer Versuchsperson, die Asthmanieigung hatte. Die Kurve A ist aufgenommen worden, als sich die Versuchsperson in einem weniger guten Zustand befand. Die Kurve B 3 Wochen später, als der Zustand deutlich besser war. Die Kurve C nach 3 Wochen, als der Zustand gut war.

Kurven wie die obigen entstanden nicht allzu häufig. In noch drei Fällen war dem Verfasser genügend über den Gesundheitszustand des Untersuchten bekannt, dass die Vermutung berechtigt erschien, es bestünde ein Zusammenhang zwischen diesem Zustand und dem relativ ungewöhnlichen Pupillogramme. Es handelt sich hierbei um Personen asthenischen Types mit Allergieneigung.

Es wäre wahrscheinlich angebracht, diese Fragestellung in einer speziellen Untersuchungsserie auf geeignete Fälle in grösserem Umfange nachzuprüfen.

Abschliessend soll eine spezielle Technik beschrieben und exemplifiziert werden, weil diese einen Messfaktor produziert, der wertvoll erscheint. Es handelt sich um die Registrierung der *Konzentrität der Pupillenkontraktion auf Licht*, welche schon früher bei der Beschreibung von den primären Messfaktoren (Pos. 11 S. 53) erwähnt worden ist. Beobachtet wurde, dass die Kontraktion in den verschiedenen Irissektoren nicht immer synchron verlief. Obgleich Anfangsperimeter und Schlussperimeter des Pupillenkreises konzentrisch waren, kamen Ungleichheiten während der Kontraktion vor. Schon 1933 hat LÖWENSTEIN einige Bilder über solche Ungleichheiten als physiologischen Befund veröffentlicht. Vom Verfasser wurde beobachtet, dass eine derartige ungleiche Kontraktion bei schlechtem Allgemeinzustand auftrat, und dass diese Unregelmässigkeit verschwand, wenn sich der Allgemeinzustand besserte.

Fig. 29 A zeigt ein normales Diagramm, das von dem oben zitierten Fall (Fig. 28 A, B, C) stammt. Darunter wird ein Konzentritätsdiagramm gezeigt, das als abnorm anzusehen ist. Technisch wurde bei den Bemühungen um Diagramme dieser Art festgestellt, dass ein normaler 16 mm Film nicht genügend scharfe Bilder liefert, um das schrittweise Abzeichnen der Iriskontur (8 Mal pro Sekunde) während der Kontraktion zu erlauben. Es hat dies zwei Gründe. Erstens bieten das kleine Format und die Fokussierung im Infrarotgebiet an sich beträchtliche Schwierigkeiten für eine optimale Schärfereinstellung. Zweitens ist auch optimale Schärfe unter obigen Verhältnissen nicht befriedigend, weil eine scharfe Aufnahme eines beweglichen Objektes (des Irisrandes während der Kontraktion) mit verhältnismässig langer Exponierungszeit nicht gelingt.

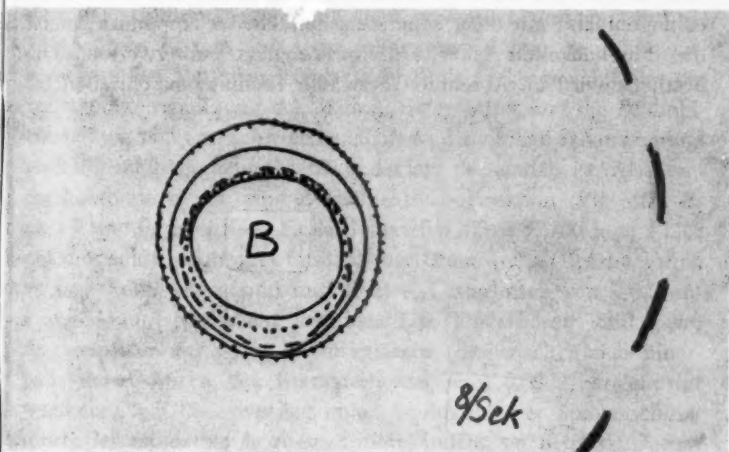
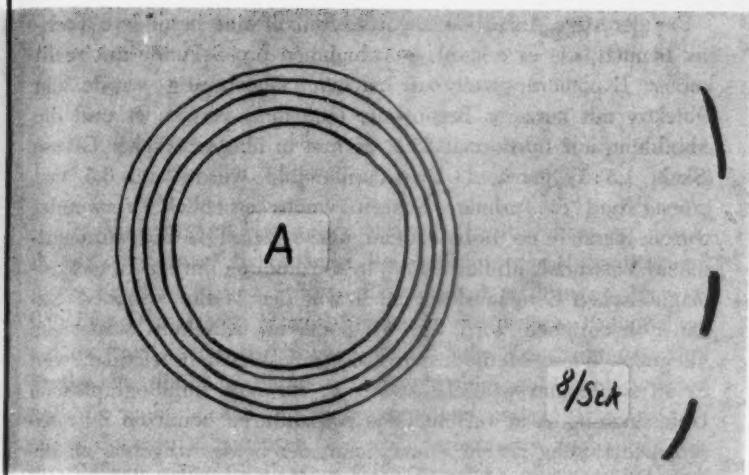


Fig. 29.

- A. Konzentritätsdiagramm aus dem Film für das Pupillogramm in Fig. 28 b: C.
 B. Dasselbe für Pupillogramm 28 b: A.

Für derartige Aufnahmen wurde deshalb eine besondere Technik benutzt, die es erlaubt, 8 Aufnahmen pro Sekunde mit recht kurzer Exponierungszeit zu machen. Gleichzeitig wurde ein Objektiv mit kürzerer Brennweite (100 mm) verwendet und die Abbildung auf Bildformat 25×25 mm in übernatürlicher Grösse (Skala 1,5:1) gemacht. Das Pupillenbild wurde also 3,5 mal grösser und die primäre Schärfe wuchs erheblich. Verwendet wurde hierzu eine Robotkamera mit Federwerk und automatischem Vorwärtsschub des Filmes in Verbindung mit einem elektromagnetischen Serienauslöser auch von der Marke »Robot«. Genauer beschrieben wird die Methode im Abschnitt »Spezielle Technik«. Diese Methode wird als provisorisch bezeichnet, weil es an sich kaum wünschenswert ist, für eine pupillographische Untersuchung zwei verschiedene Apparaturen benutzen zu müssen. Die Lösung ist ein Filmapparat, der beide Aufgaben zu bewältigen vermag. Dies ist auch möglich durch Steigerung des Formates (35 mm Film) und durch die Benutzung von synchron ausgelösten Serienblitzen durch Infrarotfilter. Da diese Technik aber in der Entwicklung verhältnismässig kostspielig ist, scheint es angebracht, mit einer separaten, einfacheren Apparatur zuerst die Möglichkeiten einer Durchprüfung zu unterwerfen. Die Methode wird im Abschnitt »Spezielle Technik« beschrieben.

D
mäs
dere
den
auf
Met
und
eine
den
D
abbi
(Bre
darf
1:2,
spre
volls
einst
und
dard
sind
mit r
zu b
F =
Aug
halb
word
röhre
messe
E₁, d
so ein
Foku

SPEZIELLE TECHNIK

Die Vielseitigkeit der gebrauchten Hilfsmittel liess es zweckmässig erscheinen, die genauere Beschreibung der Hilfsmittel und deren Prüfung an den Schluss dieser Arbeit zu bringen. Es werden hier auch einige Möglichkeiten für die weitere Entwicklung auf diesem Gebiete beschrieben. Es sind Konstruktionen und Methoden, die vom Verfasser versuchsweise entwickelt wurden und die wohl an sich nützlich erscheinen und sogar prinzipiell einen Fortschritt bedeuten, die aber konstruktiv noch nicht für den Gebrauch ausserhalb eines Speziallaboratoriums geeignet sind.

Das Zwillingobjektiv. Wenn man auf einem 16 mm Film abbilden will, disponiert man hierfür eine Fläche von 10 mm (Breite) \times 6,5 mm (Höhe). Soll ein brauchbares Bild entstehen, darf das Abbildungsverhältnis nicht wesentlich geringer sein als 1 : 2,5, d. h. 10 mm am Auge sollen etwa 4 mm im Bilde entsprechen. Der Verfasser hat das Verhältnis 1 : 2,3 gewählt, das die vollständige Abbildung der beiden Iris gestattet und die Bildfелеinstellung nicht zu schwierig macht, weil zwischen Irisausserrand und Bildfeldbegrenzung genügend Platz vorhanden ist. Als Standardmethode diente eine Zweiobjektivkonstruktion (Fig. 30). Es sind 0 und 0₁ zwei Kern-Paillardobjektive »Year F 100 mm; 1 : 3,3 mit möglichst identischer tatsächlicher Brennweite. (Bei der Firma zu bestellen!) Diese sind mittels zwei Distanzlinen von -3,5 auf F = 154 mm verlängert worden. Die Distanzlinen sind beim Augenoptiker aus guten Meniskgläsern (dioptrisch gleich innerhalb der Grenzen des Refraktometers = $\pm 0,03$ D) angefertigt worden. Die Gläser werden unter Benutzung der Sonnenschutzröhre der Objektive bequem aptiert, indem sie betreffs Durchmesser diesen Röhren angepasst werden. Zwei Distanzringe, E u. E₁, dienen dazu, den Abstand zwischen Minuslinse und Objektiv so einzustellen, dass bei den korrigierten Objektiven völlig gleiche Fokusdistanzen entstehen. Dies ist nicht ohne weiteres der Fall,

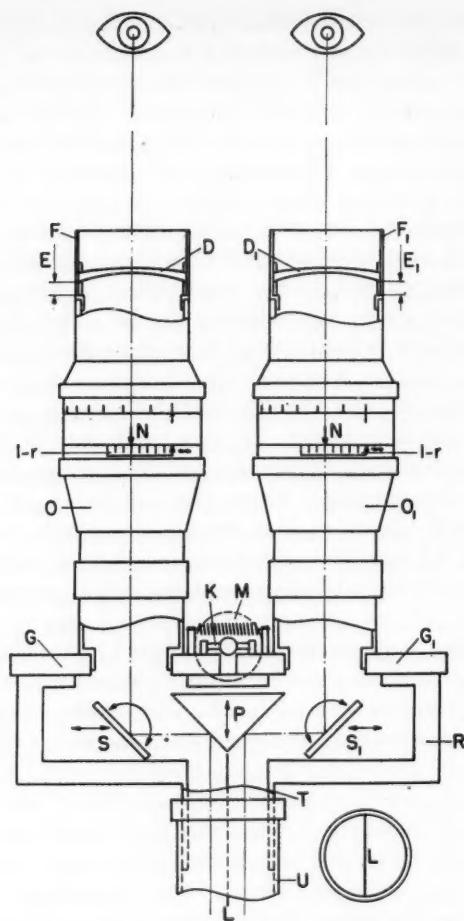


Fig. 30.

Querschnitt durch das Zwillingobjektiv. F und F₁ sind die Fassungsrohre für zwei Distarlinsen D u. D₁ die durch die Distanzringe E u. E₁ in die richtige Entfernung gebracht werden. N ist eine Einstellmarke für die Entfernungsskala. I-r ist eine besondere Infrarotskala, die gemäss Beschreibung im Text angefertigt ist. O und O₁ sind die beiden Objektive, die in den Grundplatten G u. G₁ befestigt sind. K ist ein Keil zwischen diesen Grundplatten. Der Keil wird durch den Griff M verschoben. P ist ein 90° Prisma, das an den freien

auc
ide
Vor
Tot
wei
und
die
Obj
zwi
opt
dun
Lup
E
dur
als
Fas
mus
wir
dass
volle
D
mit
Eins
fläch
oben
ande
geze
stell
dista
D
(R)
A.

Fläch
S u.
Pfeile
Tubus
Der

7 -

auch wenn die Objektive vor der Korrektion tatsächlich fokus-identisch sind. Dieselben sind nämlich zusammengesetzt, und die Vorderpartien sind meistens nicht ganz gleich, auch wenn die Totalkombination bei zwei Objektiven das Resultat $F = F_1$ aufweist. Die Ungleichheit wird durch Änderung der Abstände E und E_1 in Plus- und Minusrichtung ausgeglichen, und zwar wirkt die Minuskorrektion um so kräftiger je näher die Linse an das Objektiv herankommt. Die Breite der Distanzringe E und E_1 liegt zwischen 4 und 1,5 mm. Die korrekte Einstellung wird auf der optischen Bank gemacht unter Benutzung der aktuellen Abbildungsentfernungen (etwa 500 mm) und sechs- bis achtfacher Lupenvergrößerung beim Einstellen auf der Mattscheibe (Fig. 31).

Es sei bemerkt, dass die Herstellung eines 154 mm Objektives durch die Kombination von Yvar 100 und $-3,5$ D vorteilhafter ist als Yvar 150, weil man im ersten Falle die notwendige kurze Fassung für den geknickten Lichtweg bekommt. Bei Yvar 150 muss die Fassung gekürzt und abgeändert werden. Ausserdem wird die 100 mm Kombination wesentlich billiger. Man beachte, dass Yvar 100 kaum mehr als $-3,5$ D verträgt. Bei -4 D ist eine volle Bildschärfe oft nicht mehr möglich.

Die Objektive sind an zwei verschiebbaren Platten (G und G_1) mit Randführung befestigt. Ein Keilkörper (K) wird von einer Einstellschraube (M) zwischen die vertikalen medialen Endflächen der Platten G und G_1 nach unten getrieben oder nach oben gezogen, wobei die Platten durch die Keilwirkung auseinander getrieben bzw. durch zwei Federn (eine ist in der Figur gezeichnet) an einander angenähert werden. Durch diese Einstellvorrichtung wird die Einstürierung zu mittlerer Pupillendistanz vorgenommen.

Die Objektive in ihren Gleitplatten sitzen dem Reflexionskasten (R) auf. In diesem sind enthalten:

A. Ein Prisma P von dem Winkel 90° . Die beiden 90° -Flächen

Flächen verspiegelt und gemäss dem Doppelpfeil axiell verschiebbar ist. S u. S_1 sind zwei oberflächenverspiegelte Glasscheiben, die gemäss den Pfeilen drehbar und verschiebbar sind. R ist das Spiegelgehäuse, das einen Tubus T trägt. In dem Tubus ist eine mattschwarze vertikale Lamelle L . Der Tubus passt in ein Klemmrohr U , das von der Kamera ausgeht und Träger der Spiegelreflexvorrichtung ist.

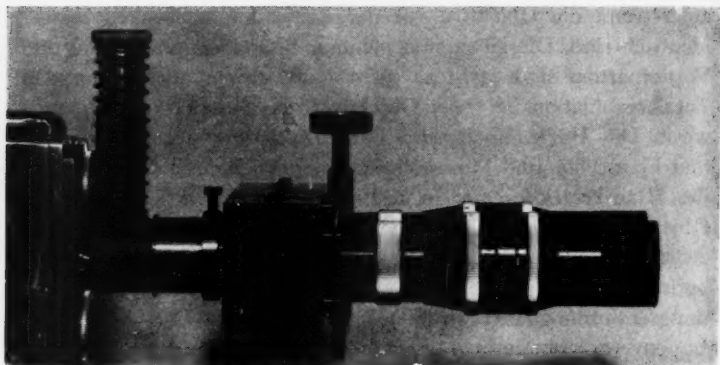


Fig. 31.

Spiegelreflexvorrichtung und Zwillingobjektiv.

sind optisch plan und tragen Oberflächenverspiegelung aus Aluminium (M, aufgedampft). Das Prisma ist gemäss dem Pfeile nach vorn und hinten etwa ± 6 mm beweglich.

B. Zwei optisch plane Spiegel S und S₁ in Haltern mit einer Fussbefestigung, die sowohl eine Drehung gemäss dem eingezeichneten Kreise wie auch eine Seitwärtsbewegung gemäss den Pfeilen möglich macht, und die – wie auch die Prismenfassung – sicher fixiert werden kann.

Die Einstellvorrichtungen für das Prisma und den Spiegel dienen dazu, die Spiegel auf 45° korrekt einzustellen und die Augenbilder auf die Prismavorderflächen so zu verlegen, dass die scleralen, medialen Irisbegrenzungen der vorderen, vertikalen Prismakante ungefähr entsprechen. Der zentrale Strahlengang ist aus dem Bilde ersichtlich.

Die Befestigung der Spiegel S und S₁ an der Halterscheibe muss praktisch ohne Randspannung geschehen, weil sonst die Spiegel sehr leicht verbiegen und das Bild unscharf wird. Ein bequemer Ausweg ist die Benutzung der neuartigen weichen Klebestreifen (»Tape«) als Umrahmung und Befestigungsmittel.

Der Reflexionskasten trägt einen Tubus (T) mit einem verstellbaren Aussentubus (U), der durch eine Schraube mit einer Klemm-

Spie
L e
die
Aus
D u

zung
mat
tive
um
zu e

Fi
dem
einen

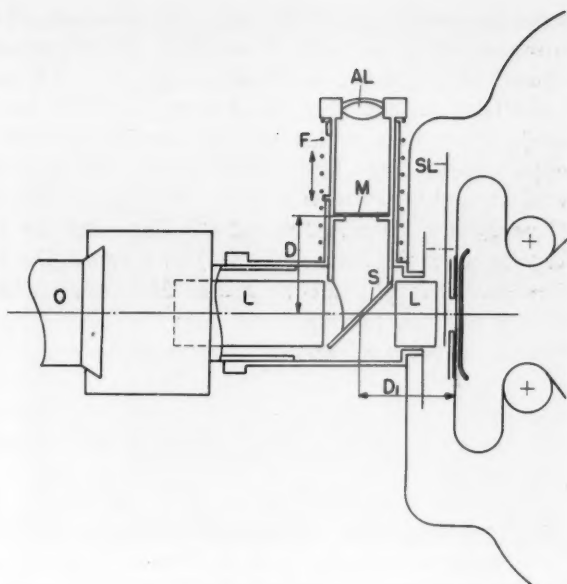


Fig. 32.

Spiegelreflexvorrichtung. Schematischer Querschnitt. O ist ein Objektiv, L eine vertikale Lamelle im Tubus. AL ist eine achromatische Lupe und M die Mattscheibe der Viziervorrichtung. F ist eine Feder für die automatische Auswärtsbewegung des Vizerohres, AL-M-S, wobei S ein planer Spiegel ist. D und D_1 sollen gleich sein. SL ist die Sektorscheibe (Schliesserlamelle) vor dem Film.

zunge fixiert werden kann. In dem Innentubus sitzt eine vertikale, mattschwarze Lamelle, wodurch die Lichtwege der zwei Objektive bis zum Filme scharf getrennt bleiben. Es ist dies notwendig um Überstrahlungen zu verhindern und scharfe Bildfeldgrenzen zu erzielen.

SPIEGELVIZIERVORRICHTUNG

Fig. 31 zeigt die Spiegelviziervorrichtung, die zusammen mit dem Zwillingobjektiv an der Kamera montiert ist. Fig. 32 gibt einen Querschnitt durch die Vorrichtung. Kennzeichnend ist ein

beweglicher Spiegeltubus (AL-M-S). Dieser ist dickwandig (2 mm) und am unteren Ende in einem Winkel von 45° abgeschnitten. Gegen diesen Schnitt ist ein oberflächenverspiegelter (A1) planer Spiegel aus Glas gekittet. (Für die Kittung empfiehlt sich ein kalthärtender Plast: Ciba Araldit 103, der sowohl an Metall wie Glas ausgezeichnet haftet). Der vordere Teil des Spiegel-Lupentubus wird abgefräst, so dass eine Luke für den Lichteintritt zu stande kommt. Am äusseren Ende des Rohres sitzt die Lupe ($7\times$ Vergr.), die auf die Mattscheibe (M) fokussiert ist. Die Lupe (AL) ist astigmatisch und sitzt beweglich im Rohre wie das Okular eines Mikroskopes, aber mit Friktion, so dass die Fokussierung den verschiedenen normalen Ametropien entsprechen kann.

Zu der Konstruktion gehört ferner eine Feder (F). Diese führt den Lupen-Spiegeltubus automatisch in neutrale Lage zurück, so dass nach Vizierung ohne besondere Handgriffe sofort exponiert werden kann.

Die Mattscheibe (M) soll feinmatt sein. Sie wurde (Glas gegen Glas) mit optischem Schmirgel Nr. 800 nass geschliffen. Es ist kaum nötig zu bemerken, dass die Distanz D dem Filmabstand D sehr genau entsprechen soll. Es ist vorteilhaft, wenn die Mattscheibe auf einem Anschlag ruht, der etwas zu tief liegt, so dass D etwas zu kurz wird. Die richtige Einstellung kann dann mit Hilfe dünner Zwischenlegescheiben geschehen. — *Das Bildfeld* ist auf der Mattscheibe dem tatsächlichen Format entsprechend abgegrenzt. Man beachte, dass die vertikale Bildfeldlamelle (L; Fig. 30 und 32) nicht in dem Gebiet des Spiegeltubus sein darf. Es entsteht deshalb zwischen den beiden Bildfeldern eine gewisse Überstrahlung, die aber durchaus erträglich ist. — Die Fokussierung geschieht wie üblich bei Spiegelviziervorrichtungen und unter Benutzung eines relativ kräftigen Lichtes und eines speziellen Objekts (s. u.).

Die Infrarotfokussierung. Für die Einstellung grundlegend ist eine korrekte Einstellung in sichtbarem Licht mittels der Viziervorrichtung. Die Infrarotfokussierung geschieht dann als eine Korrektur durch Verstellen des Entfernungsrings des Objektivs um ein gewisses Mass (s. u.).

Als Objekt dient bei der *Primärfokussierung* eine Scheibe aus Messing, die gemäss Fig. 33 montiert wird. Die Messingscheibe

ist
In
sich
beid
grav
Obj
leuc
geb
sieu
mer
eing
vur
gren
Eins

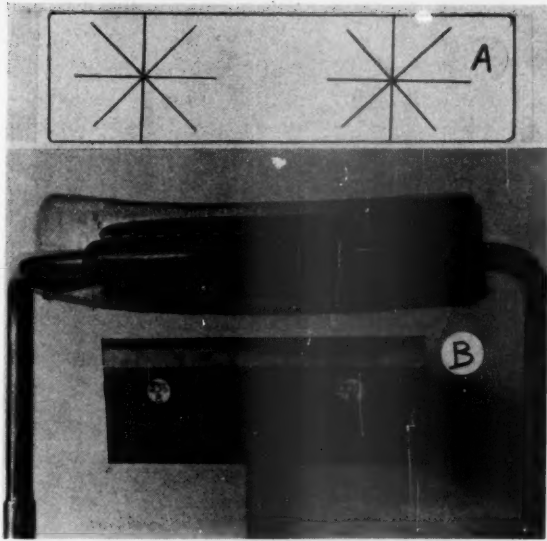


Fig. 33.

- A. Scheibe für Scharfeinstellung.
 B. Platte mit Nummermarken (•magnetische Reiter•).

ist durch feinen Seesand im Sandstrahlgebläse mattiert worden. In der zentralen Objektivprojektion ist auf die Scheibe, die sich in Augenhöhe und im Photographierungsabstand befindet, beiderseitig ein Stern, der aus vier Durchmessern besteht, eingraviert. Das Zentrum der Sternfigur liegt in der zentralen Objektivprojektion, und die Strahlen bilden Winkel von 45° . Beleuchtet wird die Scheibe durch eine Lampe, die in Fig. 35 abgebildet ist. Dieses Objekt ist für eine Feineinstellung der Fokussierung sehr vorteilhaft, weil sich bei ihm die geringste Unschärfe merkbar macht. Das Wesentliche bei der Konstruktion sind die eingravierten Strahlen, die sich mit spiegelnden V-förmigen Gravurvertiefungen gegen die mattierte Umgebung haarscharf abgrenzen. Optisch wird dadurch erreicht, dass ein sehr kleines Einstellgebiet wegen der guten Schärfe erkennbar wird, was bei



Fig. 34.

Kopfhalter mit Kinnstütze und Hilfsgerät für richtige Augenhöhe (E).

einer konventionellen Figur, die matt auf matt zu sein pflegt, nicht der Fall ist.

Die Primärfokussierung geschieht wie gesagt bei einer Entfernung des Objektivsystemes, die mit der Abbildungsgrösse ($1 : 2, 3$) eindeutig bestimmt ist und ca. 500 mm beträgt. Die Entfernung wird vom Objektivrande gemessen.

Die eigentliche Infrarotfokussierung sollte nach den Photohandbüchern (s. Literaturverzeichnis) eine Verlängerung des Objektivabstandes zu dem Filme mit $\frac{1}{4}\%$ bedeuten. Das Infrarotlicht hat eine grössere Wellenlänge (etwa $0,8 \mu$ gegenüber $0,45 \mu$ für die mittlere Objektivkorrektur) und wird nicht zu dem berechneten Fokus für sichtbares Licht gebrochen, weil Infrarotwellen weniger stark gebrochen werden. Diese Korrektur ist, wie Prüfungen zeigten, für das gebrauchte Licht (Filter Wratten 87) zu gering. Wenn man mit Schreibtape auf den Einstellring eine Hilfsmarkie-

Kop

run
stel
run
tiv-
Exp
Ver
Ver
der
N

1
mit



Fig. 35.

Kopfhalter. Die Hilfsbeleuchtung für die Einstellung (H) und das Gerät für Augenhöhe (E) sind sichtbar.

anbringt (s. Fig. 31; I-r), an der die Teilstriche 0,3 mm Verstellung in die Axialrichtung bedeuten, kann man eine Exponierungsserie durchführen, wo man schrittweise den Abstand Objektiv-Film um jeweils 0,3 mm verlängert.¹ Studiert man solche Exponierungsreihen, findet man die optimale Schärfe bei 0,8% Verlängerung. Es ist zweckmässig, diese Exponierung an einer Versuchsperson zu machen, damit die letzte Kontrolle auf Bilder der Irisstruktur geschieht.

Nachdem die korrekte Infrarotfokussierung für den Arbeitsab-

¹ Die axiale Verschiebung in mm für 180° Drehung des Einstellrings ist mit der Schieblehre zu bestimmen.

stand gefunden ist, werden alle Einstellvorrichtungen fixiert (mit Leukoplast verklebt!).

Hilfsgerät für die Einstellung der Versuchsperson. Eine horizontale Scheibe am Linealfuss, der parallel mit dem Fundament und dicht daran gestellt wird, dient als Viziergerät für die Einstellung der zu untersuchenden Person (Fig. 34 und 35). Die Scheibe befindet sich horizontal in der richtigen Höhe für das Augenzentrum. Die richtige Kopfhöhe wird mit der Kinnstütze gemäss Fig. 35 eingestellt. Der Rand der Scheibe soll 15 mm von der Cornea entfernt sein. Diese Distanz wird durch Verstellen der Stirnstütze erreicht, wobei die Entfernung zuerst immer zu gross sein muss. Diese Kopflage wird nach Augenmass geschätzt unter Zuhilfenahme eines Vergleichsstreifens von 15 mm Breite.

EINSTELLVORRICHTUNG AUF PUPILLENDISTANZ

Das Zwillingobjektiv hat eine Einstellvorrichtung für Pupillenabstand. Die Objektive können damit parallelverschoben und auf das Zentrum jedes Auges gerichtet werden. Diese Vorrichtung wird aber nicht für jede Einstellung benutzt, weil damit eine wesentliche Änderung der Fokussierung des Systemes entstehen und Anlass zu mühevoller Neufokussierung geben würde. Eingestellt wird einmalig auf die mittlere Pupillendistanz des Versuchsmaterials. Bei Erwachsenen bedeutet dies ca. 63 mm. Die aktuelle Arbeitseinstellung geschieht gemäss Fig. 36 mit Hilfe von zwei planparallelen Platten aus 30 mm starkem Plexiglas, das gut plan und optisch fehlerfrei sein soll. Es ist diese Anordnung eine Verwendung der planparallelen Platten von HELMHOLZ. Diese sind in unserem Falle um zwei vertikal gestellte Achsen mit weicher Friktion drehbar und mit zwei beweglichen Griffen auch von der Seite manövrierbar. Durch Verstellen der Platten (gemäss Fig. 36 A oder C) lässt sich eine Plus- oder Minusschwankung der Pupillendistanz auf den scheinbar richtigen – und optisch gleichwertigen – mittleren Abstand bringen. Die Einstellung geschieht auf der Vizierscheibe. Auch seitliche Asymmetrie der Augenpositionen im Verhältnis zu dem vertikalen Symmetriepan des Objekktivsystems ist unschwer einseitig zu korrigieren.

Schem
Pu

Die
gen l
gemä
spitze
Breite
Beine
Appar
tieren
tungen
licher
schiene
ment
wie au
beweg
Diese
des W
geber
Glühb
dient.

Dan
aus ku

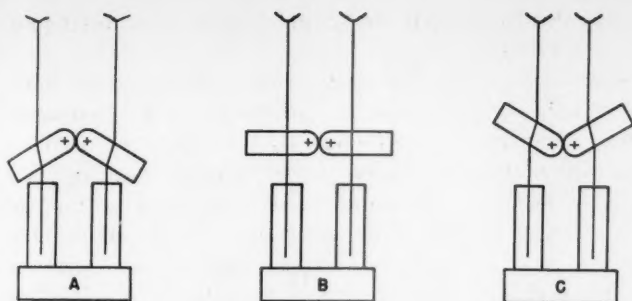


Fig. 36.

Schema. Planparallele Platten für die Kompensation von verschiedenen Pupillenabständen. A. Der Pupillenabstand ist übernormal, B. normal, C. unternormal.

KAMERA UND KAMERAUFUNDAMENT

Die gesamte Kamerakonstruktion nebst Kopfhalter und sonstigen Hilfsanordnungen ruht auf einem Tisch mit drei Beinen gemäss Fig. 37. Der Tisch ist langgestreckt triangulär und am spitzen Winkel abgeschnitten. Die Länge beträgt 1200 mm, grösste Breite 450 mm. Der Tisch hat Räder nur unter den paarigen Beinen. Er steht daher gut und ist trotz des Gewichtes der Apparatur durch Heben des schmalen Endes leicht zu transportieren. Die Kamera steht auf einem Fundament, das Vorrichtungen für die Feineinstellung der Höhe (durch Neigung), in seitlicher Richtung (durch Drehung) und der Entfernung (Führungsschienen mit Einstellschraube) besitzt. Die Kamera mit Fundament ist, wie man sieht, auf zwei horizontalparallelen Stäben wie auf einer optischen Bank montiert und kann längs dieser Stäbe bewegt und unschwer in jeder gewünschten Lage fixiert werden. Diese optische Bank dient auch als Fundament für die Montierung des Wärmefilters für die Infrarotstrahler und für den Kontaktgeber der Zeitmarkierung (s. Fig. 39) wie auch für die kleine Glühbirne, die der Versuchsperson als Blickfang und Fixierpunkt dient.

Dank dieser Bank ist es sehr leicht und schnell möglich, auch aus kurzer Entfernung und mit anderer Optik zu photographieren.

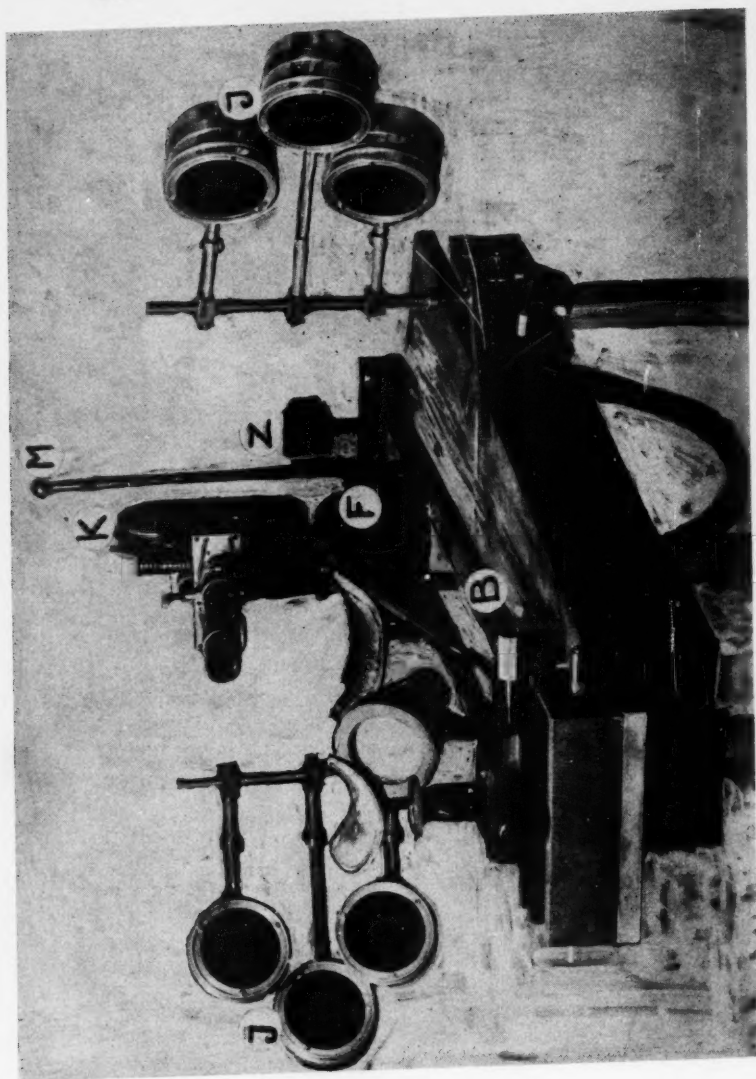


Fig. 37.

H

Der
H 16 1
Kasten
kontinu
Bildern
dern.
hierbei
für 25
läuft se
und d
fugalfr

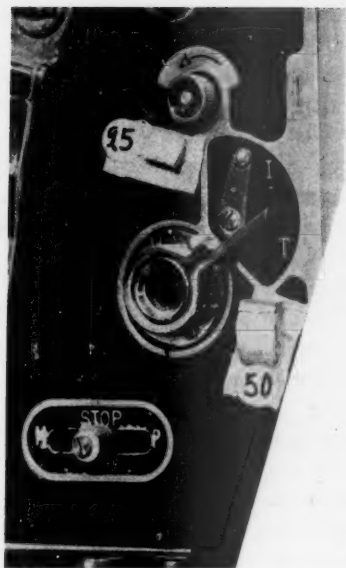


Fig. 38.

Hebelgriff mit Anschlägen für die Geschwindigkeiten 25 u. 50.

DIE FILMKAMERA UND DIE BESONDEREN VORRICHTUNGEN DARAN

Der Verfasser hat eine Paillard-Bolex H 16 benutzt. Die Bolex H 16 läuft sehr leise und braucht nicht in einen schalldichten Kasten eingebaut zu werden. Die Kamera hat Federwerk und kontinuierliche Geschwindigkeitsregulierung zwischen 8 und 64 Bildern pro Sekunde. Benutzt wurde der Bereich von 25–50 Bildern. Der Einstellgriff der Geschwindigkeitseinstellung wurde hierbei mit einem Zeigerhebel (Fig. 38) und zwei Endansschlägen für 25 bzw. 50 Bilder pro Sekunde versehen. — Die Bolex H 16 läuft sehr schnell an (nur die erste Exponierung ist etwas dunkler) und der schnell rotierende Geschwindigkeitsregler mit Zentrifugalfriktionsbremse (inwendiger Trommelbremse) ist voll be-

friedigend. Da aber die Federkraft während des Ablaufens abnimmt, kann nur der Anfangsteil des Aufzuges benutzt werden. Begrenzt man aber die exponierte Filmlänge zwischen jedem Aufzug des Federwerkes zu etwa 2,5 m, hat man keine Geschwindigkeitsänderung grösser als minus 2 % zu befürchten.

Die Einstellagen des Zeigergriffes (Fig. 38) sind durch zwei Anschläge, A_{25} und A_{50} , gegeben. Auch im Dunkeln kann man daher leicht und schnell umstellen. 25 Bilder/Sek. werden in der Regel verwendet. Nur für Sonderfälle, bei denen genau analysiert werden soll, benutzt man 50/Sek.

Diese Lagen können nicht auf Grund der Fabriksskala der Kamera markiert werden, sondern müssen empirisch bestimmt werden (Exponierungen mit Zeitmarkierung s. u.). Als Anschläge werden Korkstücke benutzt, die an Leukoplast so geleimt sind, dass sie auf einem unten klebrigen Stück Heftpflaster stehen. Sie können dann leicht aus einer ungefähr richtigen Lage langsam in die exakte Position verschoben werden. Man macht dies am bequemsten mit Hilfe von Benzol als Weichmacher für die Pflastermasse. Verarmt der Belag, stellt man eine konzentrierte Lösung aus ein paar Metern Leukoplast her, indem man diesen mit etwas Benzol auswäscht. Die Lösung soll an der Luft stehen, bis sie genügend eingedickt ist, und dient dann als Klebemittel.

ZEITGEBER, ZEITMARKIERUNG UND BLICKFANG

Als Zeitgeber dient ein kontaktgebender Synchronmotor (AEG SS 1 Sek.), der bei 50 Per. Wechselstrom genau eine Umdrehung pro Sekunde macht. Es variieren die Netze bezüglich der Frequenz nicht selten mit 1–2 %, was eine zu schlechte Konstanz für Zeitmarkierung ist. Während 1955 ist aber in sämtlichen Kraftwerken des südschwedischen Netzes eine Konstantregelung eingeführt worden. Die Variationen sind dadurch auf max. 0,2 % vermindert worden und nur ausnahmsweise grösser als $\pm 0,05\%$. Fig. 39 zeigt den Synchronmotor mit Kontaktarm für 2 Schliessungen pro Umdrehung. Die Impulsfrequenz wird also genau 2 pro Sekunde und das Intervall etwa $\frac{1}{2}$ Sek. Die Kontaktanordnung ist absichtlich so gebaut worden, dass beim Vorbeidrehen

Blinkende

des Kor
Versuch
zählen.

Der Z
teils für
am Film
die Aufn
Punkt u

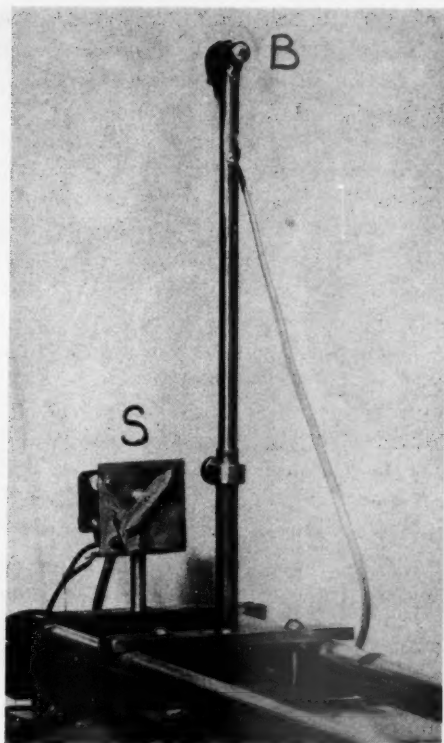


Fig. 39.

Blinkende Lampe (B) mit Rotlicht (Augenmarke) und kontaktgebender Synchronmotor (S) für diese und die Zeitmarkierung.

des Kontaktarmes ein »Pling« gehört wird. Dadurch kann der Versuchsleiter während einer Exponierung bequem die Zeit abzählen.

Der Zeitgeber schliesst (in Halbsekundenfrequenz) den Strom, teils für den Blickfang (Fixierpunkt), teils für die Zeitmarkierung am Filme. Das Blinklicht des Blickfanges ist rubinrot, und zieht die Aufmerksamkeit und den Blick der Versuchsperson auf diesen Punkt und ist darum zweckmässig. Ferner dient dasselbe dem

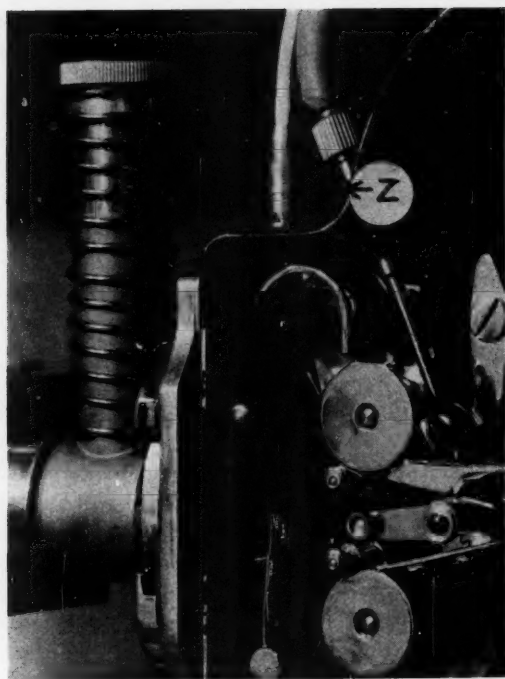


Fig. 40.

Zeitmarkierungslampe (Z). Man beachte das kleine Fensterchen im Lampengehäuse (durch einen Pfeil markiert).

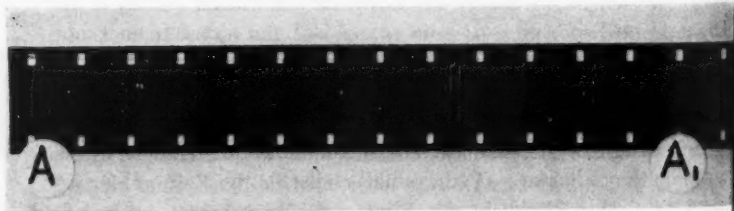


Fig. 41.

Filmstreifen mit Zeitmarken. Man beachte den gut markierten Anfang (A A₁).

Versu
Klang
wüns

Die
einer
sich in
gehäu
sodass
durch
lichte
bar v
(Fig.
vom F

Jede
im Kr
fang v
sung g
Rotlich

Der
stantsc
< 0,01
der Ze
tan au
gewich
zu erre
allein
die bei
Relais
takt (s.
Die Fi

Die
Hobby;
der Bli

Versuchsleiter, zusammen mit dem schon erwähnten hörbaren Klang der Kontaktgebung, als Hilfe bei dem Abzählen einer gewünschten Exponierungsdauer.

Die Zeitmarkierung (Fig. 40) am Filme geschieht vermittels einer Miniaturglühbirne (Merklin 00 Lokomotivbeleuchtung), die sich in einer kleinen, gekapselten Fassung ausserhalb des Kamera-gehäuses befindet. Die Kapsel hat ein oder zwei seitliche Löcher, sodass die Funktion leicht zu kontrollieren ist. Das Licht geht durch ein Rohr mit 3 mm Aussendurchmesser und etwa 1,8 mm lichte Weite bis zum Filme und zwar wird die Filmbahn unmittelbar vor dem Förderungsrad für den Einlauf in die Schleife (Fig. 40) erreicht. Die Abdeckung der Führungsbahn wird hier vom Rohre durchbrochen.

Jede Lampe in den Halbsekundenkreisen hat ein Potentiometer im Kreise zum Einstellen der Arbeitsspannung. Für den Blickfang wird eine etwa 20 %-ige Unterspannung (bei Konstantschliessung gemessen) verwendet, sodass ein gedämpftes, nicht reizendes Rotlicht resultiert.

Der Zeitmarkierer bekommt etwa 30 % Überspannung (bei Konstantschliessung gemessen). Die Kontaktzeit wird kurz gehalten $< 0,01 \text{ Sek.} > 0,005$. Hierdurch wird erreicht, dass die Glühbirne der Zeitmarkierung mit sehr geringer Verspätung ein fast momentan aufleuchtendes Markierungslicht gibt, ohne jedoch Gleichgewichtstemperatur – wie sie der Spannung entsprechen würde – zu erreichen. Das Aussehen eines Filmes mit der Zeitmarkierung allein (Kontrollstreifen) wird in Fig. 41 gezeigt. Die Batterie für die beiden Glühbirnen dient gleichzeitig als Energiequelle für das Relais der Blitzauslösung in Verbindung mit dem Synchronkontakt (s. u.). Sie wird gemäss dem Schema (Fig. 42) angeschlossen. Die Figurenklärung enthält die nötigen quantitativen Data.

DAS REIZLICHT

Synchronisierte Blitzauslösung

Die Blitzauslösung speist das Elektronenblitzaggregat (Braun-Hobby; 40 W-Sek.). – Für das Reizlicht kennzeichnend ist, dass der Blitz teils verzögert zum Kamerastart und teils synchron mit

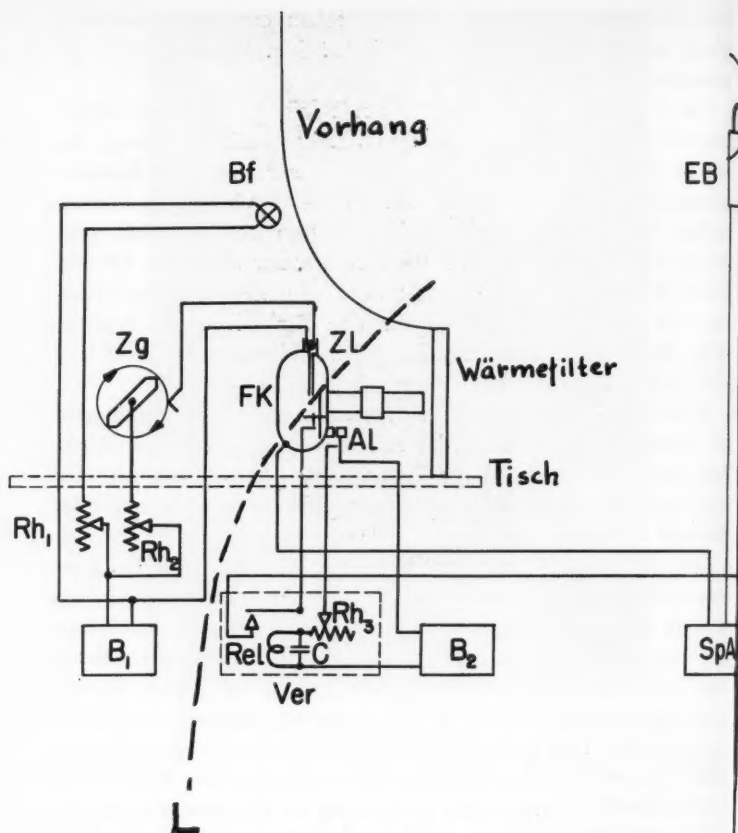


Fig. 42.

Schaltenschema für Elektronenblitzrelais mit verzögerter Auslösung (rechts von der Linie L). Daneben: Schaltenschema für die Zeitmarkierung (links von der Linie L). EB ist die Blitzröhre; SpA das Hochspannungsaggregat (Marke: Braun-Hobby 60 W-Sek.); B₂ ist eine Stromquelle aus 6 Taschenlampenbatterien (= 27 Volt); Rh₃ ein Potentiometer 0–200 Ohm; C ein Kondensator 7×10^8 mF und Rel. ein Relais, dessen Funktion durch die Kombination Kondensator – Widerstand verzögert wird. AL ist der auslösende Kontakt am Startknopf der Kamera.

Bei der Zeitmarkierung merken wir den Zeitgeber (Zg), dessen Kontaktarm 2 Mal pro Sekunde die Stromkreise für die Glühlampen des Blickfanges (Bf) und des Zeitlichtes (ZL) schließt. Als Stromquelle dient die Batterie (B₁), die 27 Volt hat. Die Birnen haben eine Nennspannung von 19 Volt und der Strom wird mittels der Potentiometer Rh₁ und Rh₂ (ca. 1000 Ω) auf passende Werte einreguliert. FK ist die Filmkamera.

einen
lösen
der
Sek.
wenn
dass
Man
Relai
sen
dara
nachs
De
keine
klär
8 — P



Fig. 43.

Startknopf (S) mit Auslöserkontakt (K) für den Elektronenblitz.

einer bestimmten Einzelexponierung ausgelöst wird. Das Auslösen geschieht automatisch durch einen Kontakt am Startknopf der Filmkamera (Fig. 43). Der eigentliche Blitz ist um 0,15–0,20 Sek. verzögert, damit der Film sicher volle Geschwindigkeit hat, wenn der Blitz kommt. Die Verzögerung wird dadurch erreicht, dass gemäss dem Schema auf Fig. 43 der Startknopf primär den Manöverkreis eines verzögerten Relais schliesst. Erst wenn das Relais anschlägt, wird der Kreis des Synchronkontaktes geschlossen – nach etwa 0,15–0,20 Sek. – und die Blitzauslösung folgt darauf momentan, d. h. ohne relevante Verzögerung mitten in der nächstfolgenden Exponierung.

Der Synchronkontakt. Eine Filmkamera besitzt normalerweise keinen Kontakt für synchrone Auslösung. Fig. 44 A und B mit Erklärung zeigt, wie ein solcher in der Form einer Nockenscheibe

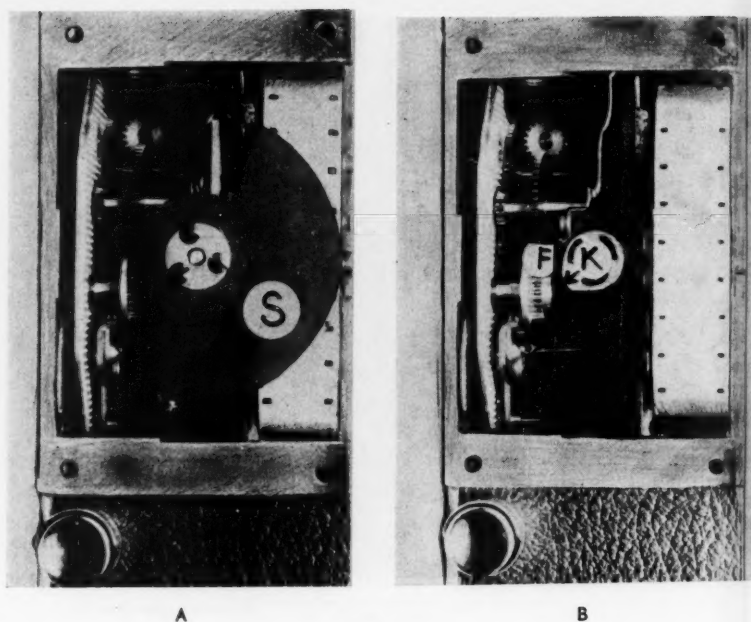


Fig. 44.

A. zeigt die Sektorscheibe (S) der Filmkamera, deren Front abmontiert ist. Die Scheibe ist horizontal gelagert. Sie macht eine Umdrehung pro Bild und bewirkt dadurch sowohl die Exponierung wie die Abschirmung des Filmes während der Filmbewegung. Die synchrone Blitzauslösung geschieht durch eine Kontaktscheibe (K) mit Nocke (siehe Pfeil) gemäss Fig. 44 B. Die Nocke schliesst den Stromkreis im richtigen Augenblick einmal pro Umdrehung gegen eine Kontaktfeder (F).

auf der Sektorwelle der Kamera hinter die Sektorscheibe eingebaut wurde. Die Nockenscheibe ist innerhalb gewisser Grenzen axial drehbar, sodass die richtige Lage der Nocke in dem Exponierungsteil der Umdrehung eingestellt werden kann. Die Nocke schliesst (s. Fig. 44 B) gegen eine Kontaktfeder den Kreis für direkte Blitzauslösung einmal pro Umdrehung. Die Schliessung geschieht mitten in der Exponierung. Wenn man also ein Blitzaggregat hätte, das sich zwischen jeder Exponierung erneuern könnte, würde man in synchronisiertem Flimmerblitzlicht photo-

Rob
selbs
tiert.

grap
App
wür

D
scha
Fede
war
Als
in V
eigen
Da
wurc
1 C
Licht

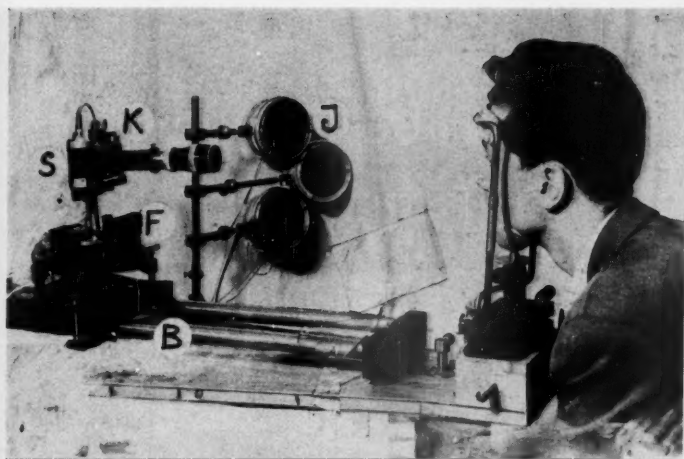


Fig. 45.

Robotkamera mit Serienauslöser. Das Bild zeigt die Kamera (F) mit dem selbsttätigen elektromagnetischen Serienauslöser (S) am Fundament (F) montiert, welches auf der optischen Bank (B) ruht. Ferner sehen wir drei Infrarotscheinwerfer (I) am Stativ.

graphieren können.¹ Es ist wahrscheinlich, dass eine derartige Apparatur so vorteilhaft wäre, dass sich die Ausarbeitung lohnen würde (s. u. Konzentritätsdiagramme).

ROBOT-APPARATUR FÜR KONZENTRIZITÄTSDIAGRAMME

Die Aufnahme von Filmen für Konzentritätsdiagramme geschah bis jetzt mit einer Robot-Kamera (Robot Star, doppeltes Federwerk) in einer Anordnung, die für Serienauslösung montiert war (Fig. 45). Die Anordnung ist als Standardapparatur erhältlich. Als Objektiv wurde eine Paillard Yvar F 100 mm, 1 : 3,3 verwendet in Verbindung mit einem stellbaren Verlängerungstubus, der eigens angefertigt wurde.

Da die Robotkamera keine Spiegelvziorrichtung besass, wurde die primäre Scharfeinstellung für den Photographierungs-

¹ Grant u. Mote haben (1949) den geringen Einfluss von sehr kurzen Lichtblitzen auf den Adaptationszustand gezeigt.

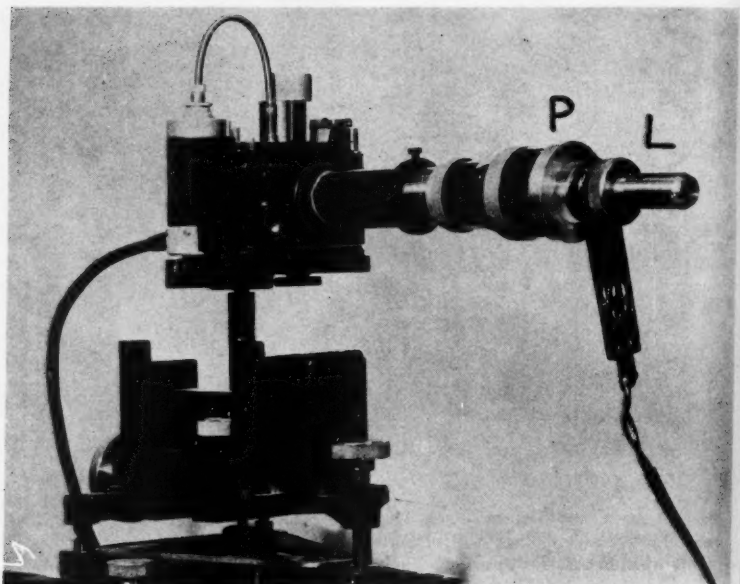


Fig. 46.

Robotkamera mit Serienauslöser und Lichtvizier (L). Das Lichtvizier ist ein kleiner Projektor mit einer Endplatte (P), die dem Objektivrand genau aufsitzt. Das Vizier projiziert ein Strahlenbündel, das einen achsenparallelen Zentralstrahl durch das Objektiv bildet. Der Lichtfleck des Lichtvizieres fällt also zentral in das Bildfeld des Objektives.

abstand mit einer provisorischen Mattscheibe und der Lupe gemacht. In schon beschriebener Weise wurde dann für Infrarotfokussierung empirisch eingestellt durch etappenweise Vermehrung des Objektiv-Filmabstandes und Probeexponierungen. Als Richtmittel bei den einzelnen Versuchspersonen diente ein Lichtfleckprojektor (Fig. 46).

Die Robotvorrichtung gibt 8 Bilder pro Sekunde, wobei die Exponierungszeit von der Bildfrequenz unabhängig ist. In dem vorliegenden Falle wurden 4 Millisekunden ($1/250$ Sek.) als Exponierungszeit gewählt. Um genug Licht zu bekommen, wurden drei Scheinwerfer gegen ein Auge gerichtet. Die Aufnahme be-

A. K

traf
der
licht
erste

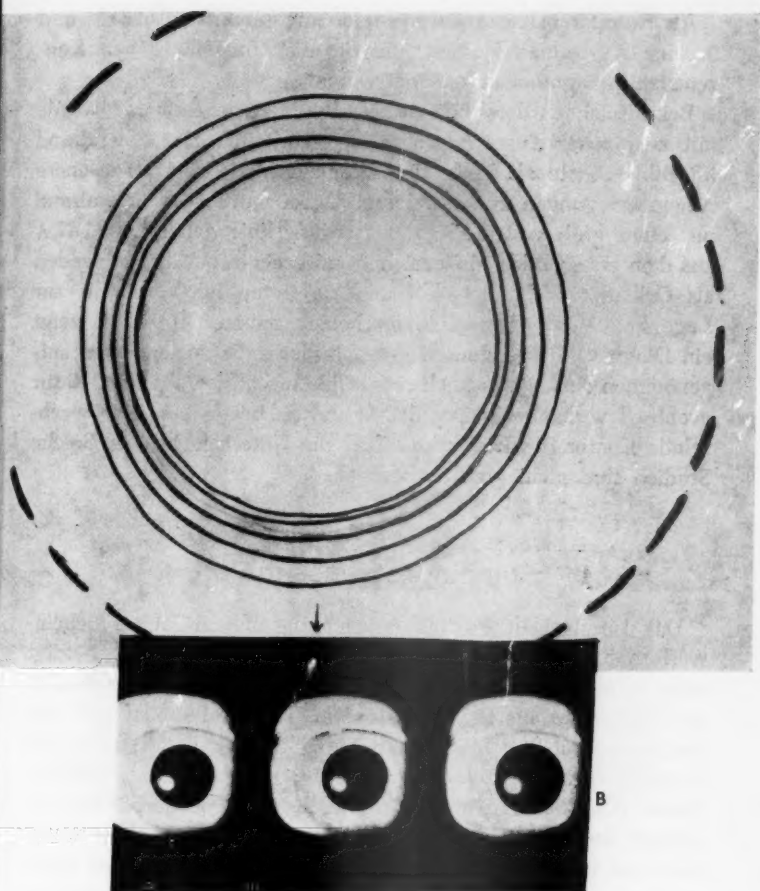


Fig. 47.

A. Konzentritätsdiagramm Robot; B. Filmquadrate mit Robot aufgenommen
(24 × 24 mm).

traf nur ein Auge. Darüber hinaus wurde die Betriebsspannung der Lampen auf 14 Volt erhöht. Der Synchronauslöser für Blitzlicht, welcher an der Kamera vorhanden ist, löste während der ersten Exponierung das Reizlicht aus. Exponiert wurde 2–2,5 Sek.

Als Resultat bekam man Irisbilder mit guter Randschärfe und in einem grösseren Format, die für die Herstellung von Konzentritätsdiagrammen geeignet waren.

Beim Zeichnen derselben in dem Vergrößerungsapparat wurde mit zehnfacher Augenvergrößerung gearbeitet. Der Scleralrand im Bilde diente als Hilfe für isotope Orientierung um kleinere Augenbewegungen zu korrigieren. Dabei wurde der Scleralrand mit einer grob gestrichelten Begrenzungslinie gemäss Fig. 47 A aus dem ersten Bilde eingezeichnet und diente bei den folgenden als Orientierungslinie, wobei dieselbe isoton im Verhältnis zur Lage im ersten Augenbilde erscheinen musste. Fig. 47 B zeigt ein Diagramm. In technisch guten Bildern, die gemäss oben aufgenommen sind, ist es auch möglich, Aufschlüsse über die Natur eventuell vorhandener Pupillenunruhe zu bekommen. Die wechselnde Kontur des Irisrandes bildet die Unterlage hierfür. Solche Studien sind nicht gemacht worden.

DIE INFRAROTBELEUCHTUNG

Das Infrarotlicht für die Beleuchtung stammt aus 6 Scheinwerfern, 3 für jedes Auge. Die Entfernung von den Augen beträgt rund $\frac{3}{4}$ m. Jeder Scheinwerfer sitzt in einem lichtdichten Gehäuse aus Alumin gemäss Fig. 48. In jedem Gehäuse befindet sich eine Autolampe mit Reflektor gemäss Fig. 49 (General Electric »sealed beam« 12 V 25 W). Dieser »Einsatz« hat nicht nur einen Reflektor hinter dem Glühfaden, sondern auch einen vorderen Konkavspiegel, der das Licht von der Vorderseite des Glühfadens reflektiert und auf diese fokussiert. Diese »Makroglühbirne« liefert daher fast kein diffuses Licht sondern nur ein annähernd parallelstrahliges, das in 0,75–1 m Entfernung ein verflochtenes Bild von der Hinter- und Vorderseite des Glühfadens gibt. Wenn die Lichtbündel von drei solchen Scheinwerfern auf dieselbe Fläche projiziert werden, wird die Beleuchtung derselben annähernd gleichmässig. Ausserdem erreicht man eine Steigerung der Beleuchtung pro Flächeneinheit auf fast das Dreifache, was sonst bei reflektiertem Licht aus einem Scheinwerfer nicht ohne weiteres möglich ist, d. h. mit einem grösseren Effekt und entsprechendem Glüh-

fade
von
wär
tive
eine

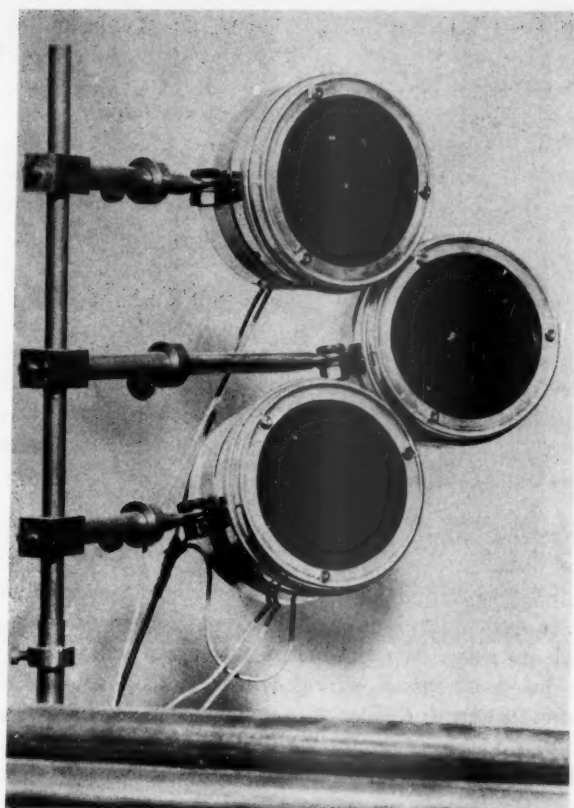


Fig. 48.
Infrarotscheinwerfer am Stativ.

faden. Dadurch bekommt man eigentlich nur ein grösseres Bild von einem grösseren Glühfaden, was in unserem Falle nutzlos wäre. Durch mehrere Scheinwerfer lässt sich dagegen die relative Flächenbeleuchtung unschwer steigern, wenn dieselben gegen einen bestimmten Punkt gerichtet werden.

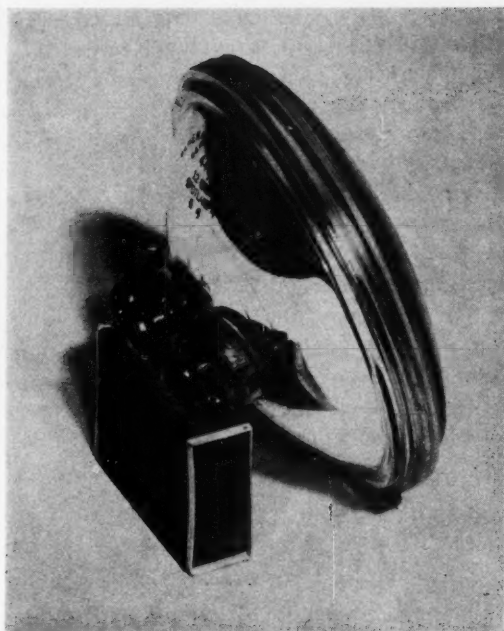


Fig. 49.

Infrarot-Strahlkörper (»Sealed Beam« Gen. El. 110 mm Durchmesser, 25 W, 12 V).

DIE FILTER FÜR DAS INFRAROTLICHT UND GEGEN DIE LANGWELLIGE WÄRMESTRAHLUNG

Vor jedem Scheinwerfer sitzt ein Infrarotfilter in der Öffnung eines sonst lichtdichten Deckelringes. Verwendet wurde das Filter Kodak-Wratten 87, das ein ausgeprägtes Schwarzfilter ist. Diffuses Tageslicht ist dadurch nicht zu sehen wohl aber die Sonne, die als roter Körper erscheint. Die Extinktionskurve (Fig. 50) entspricht dem neuen, extrem empfindlichen Filmmaterial »Kodak infrared supersensitive«. Das filtrierte Licht enthält kaum Strahlen, die kürzer als $740 \mu\mu$ sind. Die Strahlung sollte demgemäss

eigen
mit
wohl
Strah
grosse
von
Pupill
gering
Stärke
die I
Grund
Tages
eben
wurde
Wä
wellig
bietes
Lamp
Bei V
3000°
sen) a

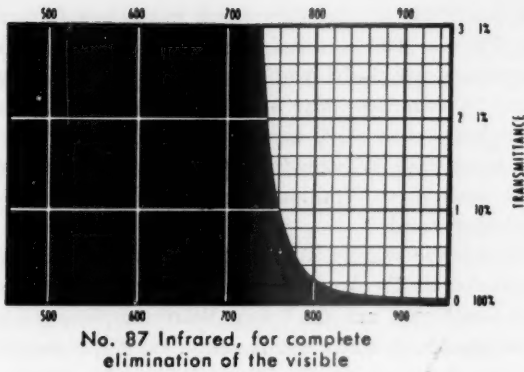


Fig. 50.

Extinktionskurve für das Infrarotfilter (Kodak Wratten 87).

eigentlich unsichtbar sein, weil die untere Grenze der Sichtbarkeit mit 700 bis 725 $\mu\mu$ angegeben wird. Dies ist jedoch keine wohldefinierte Grenze, denn die Reizwirkung der langwelligen Strahlung ist stark von deren Intensität abhängig (GÖTHLIN). Bei grossen Intensitäten aus einem Scheinwerfer ist selbst ein Licht von 800 $\mu\mu$ gut sichtbar. Doch ist die Reizwirkung auf den Pupillenreflex, wie im experimentellen Teil bestätigt wurde, gering. Die Strahlung wird als ein rubinrotes Licht mittlerer Stärke wahrgenommen, wobei allerdings zu bemerken ist, dass die Dunkeladaptation bei der herrschenden, recht schwachen Grundbeleuchtung ziemlich weit fortgeschritten ist. Bei kräftigem Tageslicht ist eine Rotkomponente aus den Scheinwerfern nur eben sichtbar. Um deren Wirkung möglichst niedrig zu halten, wurden die Scheinwerfer mit Unterspannung betrieben.

Wärmefiltrierung. Die Scheinwerfer liefern wesentlich langwellige Strahlung unterhalb des photographisch wirksamen Gebietes in nahem Infrarot. Dies ist umsomehr der Fall, weil die Lampen (12 Volt) mit Unterspannung (8 Volt) betrieben wurden. Bei Vollspannung hat der Glühfaden eine Temperatur von etwa 3000° Kelvin, die bei 8 Volt auf ca. 2000° (mit Pyropto gemessen) absinkt. Das Strahlungsmaximum eines glühenden Körpers

liegt erst bei 3700° im photographisch nützlichen Infrarot, d. h. zwischen 700 bis 800 $\mu\mu$. Bei 2000° beträgt diese Strahlung schätzungsweise nur 2–3 % von der Totalstrahlung. Hinzu kommen etwa 2 % »weisses« oder »sichtbares« Licht, das abfiltriert wird. Der Rest, etwa 95 %, besteht aus langwelliger Strahlung, die sich durch ihre Wärmewirkung sehr deutlich zu erkennen gibt, weil auch diese Strahlung weitgehend durch die Scheinwerfer fokussiert wird.

Diese strahlende Wärme ist nicht erwünscht, weil die Versuchsperson dieselbe als Trockenheit in den Augen zu spüren bekommt und auch sonst evtl. auf die lokale Wärmeempfindung reagiert. Die Wärmestrahlung wird deshalb durch ein Filter ausgeschaltet, das aus einer 25 mm dicken Plexiglasplatte besteht, welche vertikal auf die optische Bank des Fundamentes montiert wird. Durch schwarzen Seidenkrepp ist die Platte gemäss Fig. 9 »neutral« gemacht worden. Nur für den Lichtweg der Infrarotstrahler sind im Stoffe – aber nicht in der Platte – Öffnungen vorhanden, die durch den dünnsten schwarzen Seidenflor für den Betrachter glanzlos und neutral gemacht worden sind. Der Flor absorbiert einen Teil der sichtbaren Strahlung, lässt jedoch mehr als 75 % hindurch. – Eine Intensitätsregulierung der Strahlung gemäss Augenfarbe der Versuchsperson geschieht nicht, weil auch braune Augen Infrarot gut reflektieren und die Iris also mit der Pupille gut kontrastiert. – Die Filmempfindlichkeit auf Infrarot hat eine sehr steile Gradation, und die optimale Lichtmenge muss folglich genau bemessen werden. Deshalb werden die Scheinwerfer durch einen Stufenregler gespeist (Trafo; stufenweise Regulierbarkeit zwischen 7 und 14 Volt in Stufen von 0,5 V). Es lässt sich damit die jeweils notwendige Intensität innerhalb recht weiter Grenzen unschwer einstellen.

Hilfsbeleuchtung für die Vizierung. Die Einstellung des Bildfeldes geschieht zuerst an der Nummerscheibe (s. Fig. 34), um die Versuchsperson möglichst wenig zu stören. Diese Einstellung ist nicht bei der Grundbeleuchtung möglich, weshalb eine schwache, abgeschirmte, lokale Lichtquelle (15 W) vorgesehen ist (s. Fig. 35). Auch bei der kurzen Nachkontrolle an der Versuchsperson ist die Hilfsbeleuchtung notwendig, die aber dann durch eine zweifache Decke aus schwarzen Seidenkrepp auf etwa 0,5 Lumen

(in
ges
45°
Lic
aus
Nyl

D
kom
wer
tung
die
den

Al
Labe
lamp
rekte
gab
spiel
korre
Hint

Als
Durch
(MG
wurde
dem
lange
Die
(20 m
geeig
Ende

(in 0,3 m Entfernung = 3 Lx) reduziert wird. Eine derart abgeschwächte Beleuchtung, die nur kurze Zeit und schräg (etwa 45°) auf die Augen fällt, stört die Dunkeladaptation kaum. Das Licht strahlt aus einem Reflektor mit etwa 90 mm Querschnitt aus, und die Birne ist matt. Vor der Reflektormündung ist weisse Nylonseide gespannt, um das Licht zu dämpfen und zu verteilen.

PHOTOMETRIERUNG

Da photometrische Messungen in dieser Arbeit mehrfach vorkommen, sollen hier die gebrauchten Methoden kurz beschrieben werden. Es handelt sich teils um die Bestimmung von Beleuchtungsintensitäten (Grundbeleuchtung, Hilfsbeleuchtung), teils um die Bestimmung des Lichtwertes des vom Elektronenblitze auf den Vorhang reflektierten Lichtes.

LICHTSTANDARD UND PHOTOMETRISCHE APPARATUR

Als Standard diente eine Glühbirne mit Zertifikat, die im Laboratorium der schwedischen Glühlampenfabrik »Hammarby-lampan AB« (Luma) hergestellt wurde. Bei Einhaltung der korrekten Betriebsspannung (mit kontrolliertem Voltmeter Klasse A) gab diese eine Lichtstrahlung von ca. 20 Lx (der exakte Wert spielt für die Beschreibung keine Rolle) bei 1,0 m Entfernung, korrekter Orientierung und Messung gegen einen mattschwarzen Hintergrund.

Als Messkörper wurde eine Sperrsicht-Photozelle von 50 mm Durchmesser in Verbindung mit einem Multiflexgalvanometer (MG 3) und stellbarem Shuntkasten verwendet. Die Photozelle wurde gegen diffuse Seitenstrahlung (Wänder etc.) geschützt, indem sie in das Endstück eines invendig mattschwarzen, 300 mm langen Rohres einmontiert war.

Die Versuchsanordnung wurde in einem langen Kellergang (20 m) aufgestellt. Die Normallampe und das Voltmeter waren in geeigneter Messhöhe vor einem mattschwarzen Hintergrund am Ende des Korridors aufgestellt. Auf einem Rolltisch und in der

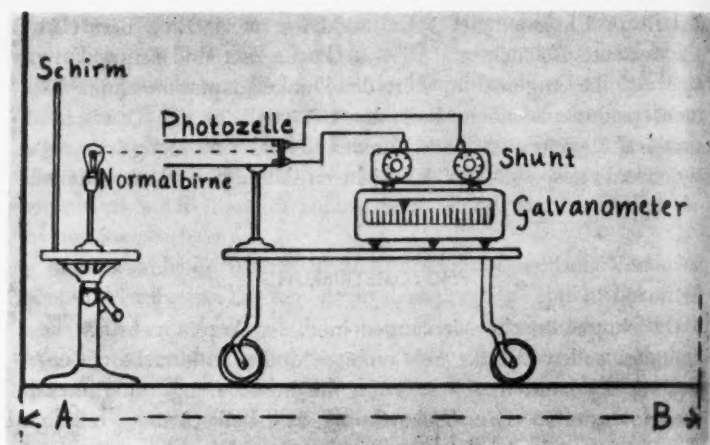


Fig. 51.

Versuchsanordnung für Photometrierung. Die Strecke A–B beträgt > 12 m, sodass 10 m zwischen Birne und Photozelle erreicht werden können.

gleichen Höhe befanden sich Galvanometer und die Photozelle auf dem Stativ (Fig. 51).

Bei richtiger Betriebsspannung hatte man nun den bekannten Lichtwert von 20 Lx in 1 m Entfernung von der Lampe. Um den Standard zu schonen, und um unabhängig vom Netz und den Netzschwankungen sicher arbeiten zu können, wurde eine Sekundärnormale eingemessen. Diese bestand aus einer Glühlampe von 6–8 Volt und etwa 5 W. Mit 6 Volt lieferte diese (nach 24 Stunden Einbrennzeit) also etwa 10 Lx.

Diese wurde von einem recht grossen Akkumulator (6 V 160 Amp Std = 2 Startakkumulatoren für Autogebrauch) gespeist. Als Regulierwiderstand wurde ein Stapel aus Kohleplatten (Verf.) gemäss Fig. 52 gebraucht, der eine sehr präzise, gleitende Einstellung der Betriebsspannung mit Hilfe eines guten Voltmeters erlaubte. Der Akkumulator war frisch geladen und ein paar Stunden mit 2 A abgebrannt um Spannungsstabilität zu erreichen.

Die Einstellung des Arbeitsstandards gegen die Normalbirne geschah dann so, dass zuerst die Normallampe brannte. Darauf

Kohle
Kohle
Wider-
Unter-
sch

wurde
in ko-
und
dann

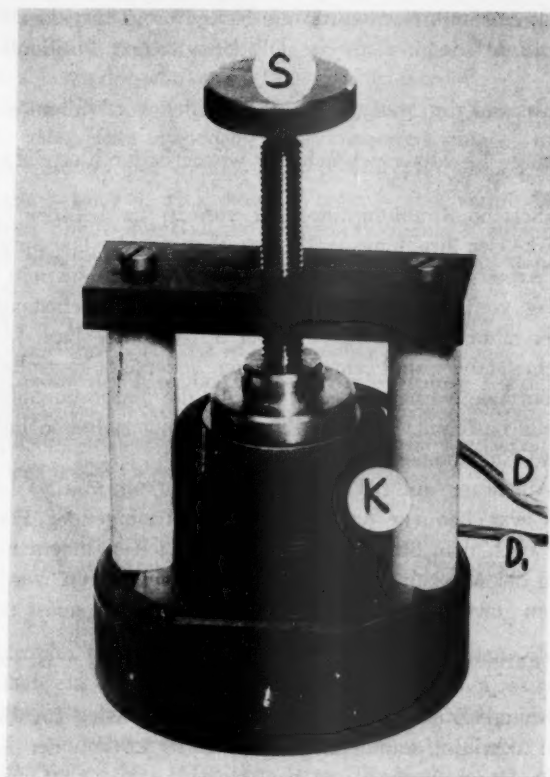


Fig. 52.

Kohlescheibenwiderstand. Durch die Schraube (S) kann der Druck auf die Kohlescheiben (K) variiert werden. Dadurch ändert sich der elektrische Widerstand zwischen den Drähten D und D₁, die mit dem Oberteil bzw. Unterteil des Kohlescheibenstapels leitend verbunden sind. Die Kohlescheiben sind Mikrophonscheiben 50 mm Durchmesser und 0,3 mm dick.

wurde die Photozelle mit Galvanometer auf 1 m Messentfernung in korrekte Position gebracht (Tubus gegen Lichtquelle gerichtet und in gleicher Höhe). Der Shunt des Galvanometers wurde dann so eingestellt, dass ein voller Ausschlag (von 200 Teilstrichen)

für 20 Lx entstand. Nun wurde die Normalbirne ausgemacht und gegen die Arbeitsbirne (in genau der gleichen Position!) vertauscht.

Der Abstand des Messgerätes (Photozelle) wurde dann auf die Entfernung $\frac{2}{\sqrt{1}}$ Meter gebracht. Es wurde dadurch erreicht, dass

genau dieselbe Strahlungsintensität von 20 Lx bei der halben Lichtstärke der Strahlungsquelle herrschen würde. Die Spannung für den Arbeitstandard wurde dann so einreguliert, dass ein voller Ausschlag von 200 Teilstrichen am Galvanometer entstand (bei derselben Shuntlage!). Dies war bei 5,7 Volt der Fall. Da nun eine sehr stabile und am Voltmeter jederzeit kontrollierbare Arbeitsnormale vorhanden war, wurde die Proportionalität der Photozelle bestimmt, d. h. der Zusammenhang zwischen Beleuchtung und Galvanometerausschlag

Die Abstufung auf bekannte Lichtintensitäten von 20 Lx und abwärts war bequem und leicht mit befriedigender Präzision ($\pm 1\%$) nach dem Strahlungsgesetz zu erreichen, indem nur der Abstand der Messapparatur von der Birne vergrößert wurde und zwar den gewünschten Intensitäten entsprechend gemäss der ein-

fachen Formel für Intensitätshalbierung $\frac{A}{\sqrt{2}} = X$. A ist der An-

fangsabstand, X der gesuchte Abstand für die halbe Lichtintensität. Bei 1 m Entfernung hat man also 10 Lx von der Arbeitsnormale. Durch Vermehrung des Abstandes bestimmt man nun in Stufen von z. B. 10, 8, 6, 5, 4, 3, 2 und 1 Lx die Ausschläge am Galvanometer für diese bekannten Lichtintensitäten. Die Kurve, Lichtintensität gegen Ausschlag ist hiermit eingemessen. Weil das Verfahren für ein wesentlich weiteres Gebiet brauchbar ist, soll hier kurz angedeutet werden, wie dieses ausgenutzt werden kann.

Die Kombination von einer grossen Sperrschichtzelle mit einem Multiflex 3 mit verstellbarem Shunt ist ein Universalphotometer, das auf jedes gewünschte Messgebiet innerhalb weiter Grenzen eingestellt werden kann. Die Proportionalität der Photozelle muss jedoch für jedes Gebiet neu bestimmt werden. Auf Konstanz der Temperatur ist zu achten, weil die Photozelle (Pressler Sperrschicht-Zelenzelle) mit der Temperatur, in erster Linie Empfind-

lich
sol
geh
que
Qu
Wie
mit
kom
 $\times 1$
Zuh
das
E
des
zelle
gege

El
und
Vorr
mach
mit
schie
über
gefüh
liche
(< 0).
Glüh
tische
bild v
Anste
($1/100$
gramm
gleich

lichkeit, aber allmählich auch die Proportionalität ändert. Ferner soll die Zelle gegen wesentlich oberhalb des aktuellen Messgebietes liegendes, starkes Licht geschützt werden.

Aufwärts kann man eichen, indem man die Standard-Lichtquelle mit Hilfe gleicher Galvanometerausschläge und des Quadratgesetzes gegen eine etwa 5 Mal kräftigere austauscht. Wiederholt man 4 Mal diesen Vorgang und vermindert man mit dem Shunt die Galvanometerempfindlichkeit entsprechend, kommt man in ein Gebiet, das 5^4 Mal intensiver ist, d. h. 625×10 Lx. Nach unten kann man in analoger Weise – evtl. unter Zuhilfenahme des empfindlicheren Multiflex 4 (Mg 4) – bis in das Gebiet von 0.0001 Lx exakt messend eindringen.

Ein Standard von ca. 500 Lumen wurde benutzt um die Stärke des Reizlichtes zu kontrollieren. Dabei wurde die Sperrschichtzelle gegen eine Vakuumzelle ausgetauscht und der Galvanometer gegen einen Kathodenstrahlenoszillographen.

DIE MESSUNG DER ZÜNDZEIT UND LÖSCHZEIT BEI GLÜHBIRNEN

Elektrische Glühlampen haben oft eine beträchtliche Zündzeit und Löschzeit. Um diese Faktoren messen zu können, wurde eine Vorrichtung gemäss Fig. 53 verwendet. Ein rotierender Arm macht 50 Umdrehungen pro Minute über einer gradierten Scheibe mit 120 Teilstrichen. Der Arm trägt Fassungen, an die verschiedene Birnen so aptiert werden können, dass der Glühfaden über die Skala kommt. Durch Schleifkontakte wird der Strom zugeführt. In der einen Kontaktbahn besteht alternativ die Möglichkeit, die Birne durch einen kurzen Stromstoss zu speisen (< 0.01 Sek.). Wird die Spannung so geregelt, dass man den Glühfaden bequem mit $1/2$ Sek. Exponierungszeit auf panchromatischem Film photographieren kann, so bekommt man ein Lichtbild von dem Glühfaden in Bewegung. Hierdurch können das Ansteigen und Abklingen der Lichtintensität über eine Zeitskala ($1/100$ Sek.) abgelesen werden. Fig. 53 rechts zeigt das Photogramm einer gewöhnlichen Fahrradbirne (6 V, 0,35 A). Als Vergleich ein Bild von einer Dünndrahtbirne (10μ), die mit Wasser-

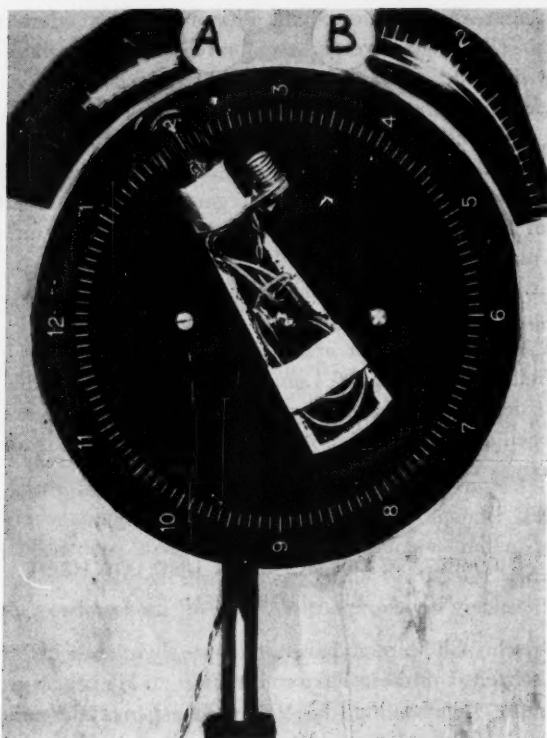


Fig. 53.

Synchron rotierender Arm über Zeitskala (120 Teilstriche; jeder Teilstrich = 0,01 Sek.). Das Nebenbild (A) zeigt das Photogramm einer wasserstoffgefüllten (200 mm Hg) Dünndrahtbirne (10 Mikron Drahtdurchmesser). Daneben (B) das Photogramm der Birne einer gewöhnlichen Fahrradbeleuchtung (6 Volt, 0,35 A). Man sieht, wie A im Anstieg und Abklingen ($< 0,01$ Sek.) sehr schnell ist, während B viel langsamer erscheint: sichtbarer Anstieg 0,04 Sek.; sichtbares Abklingen 0,2–0,25 Sek.

stoff (200 mm Hg) gefüllt ist. Man bemerkt den Unterschied im Ansteigen und Abklingen der Lichtintensität. Die Wasserstoffbirne ist schneller als 0,002 Sek., die andere etwa 20 Mal langsamer.

ENTWICKLUNG UND HANDHABUNG VON INFRAROTMATERIAL "KODAK INFRARED SUPERSENSITIVE"

Das Filmmaterial ist sehr empfindlich (etwa zehn mal mehr als früheres Material) und wurde erst vor kurzem auf den Markt gebracht. Die Schicht reagiert auf verhältnismässig langwelliges Infrarot ($1000\ \mu\mu$). Der Film wird für längere Zeit am besten im Kühlschrank aufbewahrt. Im Verhältnis hiermit ist ein konventioneller Infrarotfilm nur als extrem rotempfindlich zu bezeichnen.

Infolge der hohen Empfindlichkeit auch auf relativ lange Wellen muss das Material in vollständiger Dunkelheit gehandhabt werden und ist auch gegen Friktion und Knickung zu schützen. Man beachte, dass Tuch oder Holz nicht lichtdicht genug ist gegen Glühbirnenlicht und dass eine kurze Zeit nach Ausmachen des Lichtes vergehen muss, ehe die Birnen kalt und strahlungsfrei sind. Das Einlegen von Film in die Kamera muss geübt werden, zuerst bei Licht und dann in Dunkelheit, bis der Tastsinn an der Kamera stereotaktisch überall gut orientiert ist, was mehrere Wochen Übung bedarf.

DAS ENTWICKELN

Das Entwickeln geschieht gemäss Fig. 54 mit Rahmen, die jede Länge bis 15 m (= 12 Exponierungen) fassen können. Die gewöhnlichen Entwickler sind alle brauchbar. Eine normale Zeit in Methol-Hydrochinon Tankentwickler ist 5 Min. bei 20° . Eine Verdoppelung dieser Zeit ist nicht gefährlich. — Für Sonderentwickler (z. B. zwecks Empfindlichkeitssteigerung) sind eine Entwicklungsdose und Einzelentwicklung zu empfehlen. Es gibt gute solche auch für 16 mm Film im Handel.

Die hohe Empfindlichkeit des Films betrifft nur das Infrarotgebiet. Infolgedessen kann man sich die Arbeit in voller Dunkelheit dadurch erleichtern, dass man an gewisse Gegenstände kleine Stücke von selbstleuchtender Masse befestigt, die eine bessere Orientierung erlauben. Der Film wird dadurch nicht beschleiert, wenn die Entfernung von der sehr schwachen Lichtquelle weit genug ist ($< 0,3\text{ m}$).

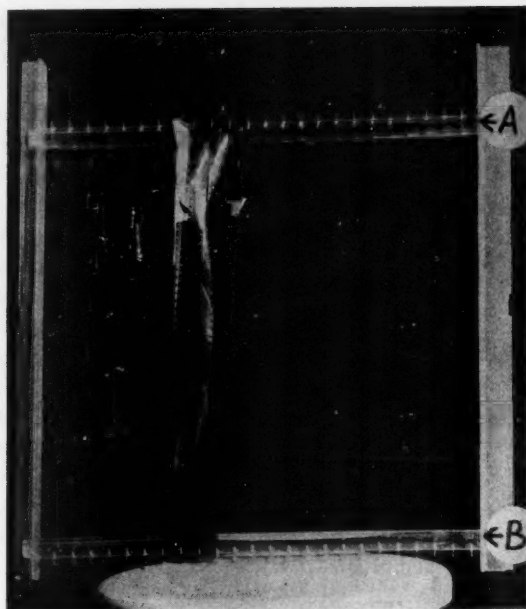


Fig. 54.

Entwicklungsrahmen. Der Rahmen ist aus Plexiglas gebaut und hat Scheidelamellen an der oberen und unteren Querstange. Diese sind, oben gegen unten, um eine halbe Filmbreite verschoben, so dass der Film beim Aufwickeln eine Art Spirale bildet. Der Rahmen fasst bequem 15 m Film. Abstand A—B = 400 mm.

SONDERVORRICHTUNGEN, DIE FÜR PSYCHIATRISCHE FÄLLE AUSGEARBEITET WURDEN

Bei solchen Patienten kann man nicht immer auf volle Mitwirkung rechnen, oder man muss mit einer Überempfindlichkeit rechnen. Es ist deshalb wesentlich, dass die Technik in der Handhabung einfach und die Versuchsanordnung für den Patienten bequem ist.

Es wurde in Versuchen festgestellt, dass die schnelle Einstellung für die Exponierung wesentlich leichter ist, wenn man mit nur

Prim
nur
sind
bild

eine
wich
D
hat
und
der
mit
kann
Plex
eine
kale
gleich
auf
verti
kann
werd
Irisb
nung
wie i
(80 r

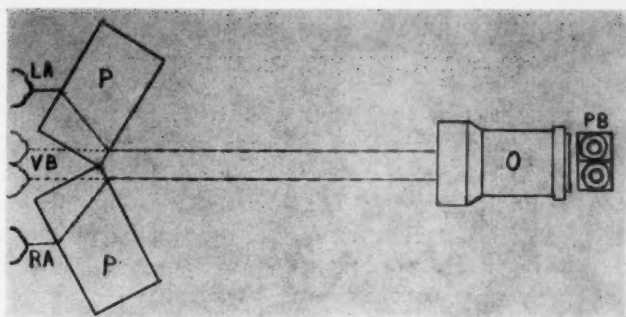


Fig. 55.

Prinzipschema für eine binokuläre Pupillographie unter Verwendung von nur einem Objektiv unter Auslassung der interokulären Teile. LA und RA sind das linke und das rechte Auge, die dank der Brechung als ein Zwillingbild VB erscheinen und vom Objektiv O als Zwillingbild (PB) auf dem Film abgebildet werden.

einem Objektiv arbeiten kann. Eine solche Technik wurde entwickelt. Fig. 55 zeigt dieselbe als Prinzipzeichnung.

Der Patient sitzt in einem besonders konstruierten Stuhl. Dieser hat eine verstellbare Höhe (der bequemen Sitzstellung wegen) und verstellbare Rücken- und Schulterstützen. Einzelheiten sind der Figurerklärung zu entnehmen. — Endlich ist auch eine Stütze mit Stirnbinden vorhanden, mit denen der Kopf fixiert werden kann. Als besondere Vorrichtung müssen noch die planparallelen Plexiglasstücke beschrieben werden. Diese sind optisch plan, auf einem Halter befestigt und können durch ein Stativ in vertikaler Richtung bewegt werden. Durch diese Vorrichtung wird die gleichzeitige Abbildung von zwei Pupillen dicht nebeneinander auf einem Bild möglich. Die Plexiglasstücke sind zentral um vertikale Achsen beweglich, und der Winkel zwischen den Stücken kann, der Pupillendistanz des Patienten entsprechend, geändert werden. Bei richtiger Einstellung »sieht« das Objektiv die beiden Irisbilder neben einander zu beiden Seiten der vertikalen Trennungslinie der planparallelen Plexiglasstücke. Die Anordnung ist wie in Fig. 36, nur sind die planparallelen Platten erheblich dicker (80 mm), sodass die Augen auch bei mässigem Drehungswinkel

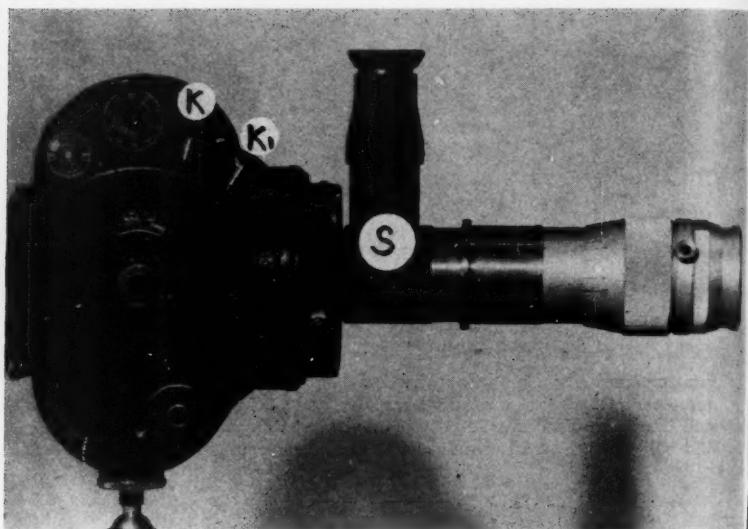


Fig. 56.

35 mm Einobjektiv-Filmkamera mit Spiegelvisier (S) und Anschlusskontakten (K. u. K₁) für die Zeitmarkierung und die synchronisierte Blitzauslösung.

der Scheiben scheinbar dicht nebeneinander im Bildfeld erscheinen.

Das Photolicht und das Reizlicht sind mit dem identisch, was schon früher bei der 16 mm Methode beschrieben wurde. Die Kamera ist eine Bell Howell »Eyemove« mit Federwerk, das analog mit der Paillard-Kamera umgebaut wurde (Fig. 56).

Das Photostativ, an dem auch die Infrarotbeleuchtung befestigt ist, ist freistehend. Die Optik ist eine Rodenstock Yronar; $F = 135 \text{ mm } 1:3,5$. — Die Filmbreite ist 35 mm.

Es ist nicht möglich, die Leistungsfähigkeit dieser Apparatur zu beurteilen ohne eingehende Erfahrung mit psychiatrischem Material, welche noch fehlt.

Es ist möglich, dass einige Fälle überhaupt nicht sitzend pupillographiert werden können. Um auch diese Schwierigkeit zu

Stuf
die
I

bew
Fig.
den

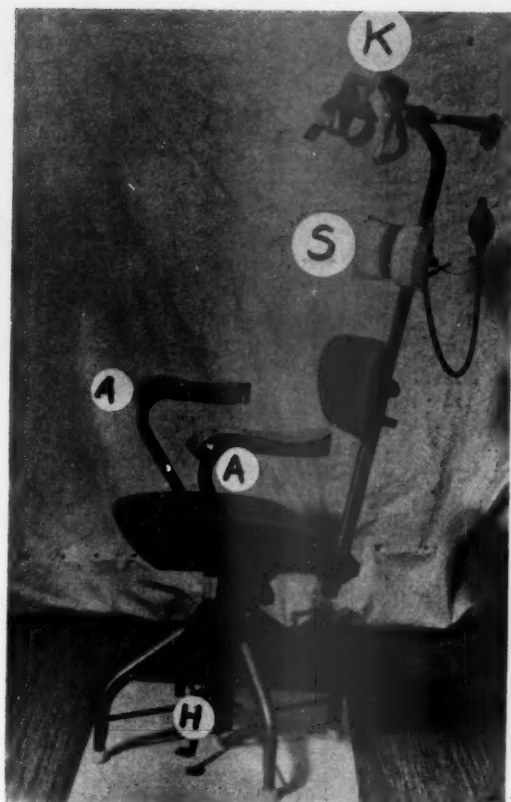
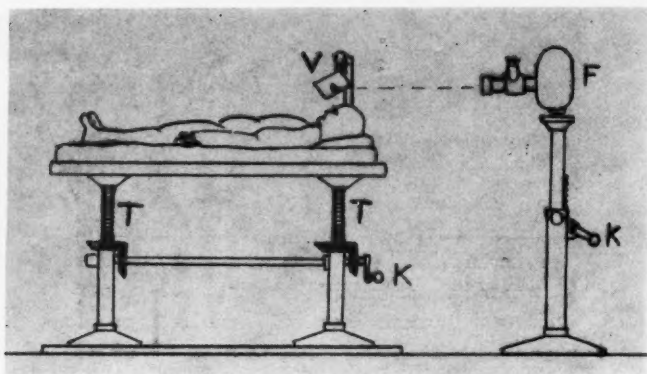


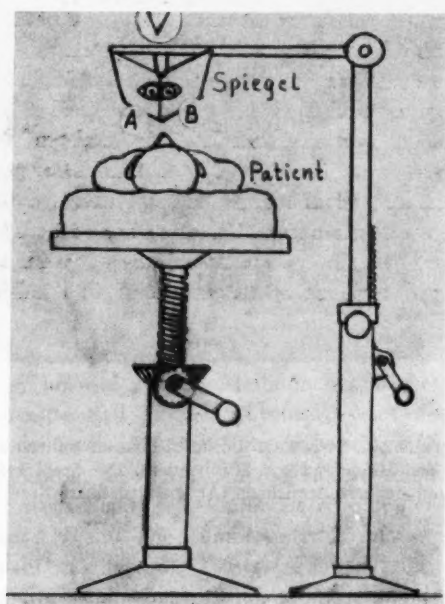
Fig. 57.

Stuhl für den Patienten. Man sieht die aufblähbare Schulterstütze (S) sowie die Stütze für den Hinterkopf mit Stimbändern. Der Stuhl hat verstellbare Höhe (H) und stellbare Armlehnen (A), sowie stellbare Kopfstütze (K).

bewältigen, ist eine Methode am Liegenden ausgearbeitet worden. Fig. 58 und 59 zeigen diese Anordnung. Das Wesentliche ist in den Figurerklärungen beschrieben.



A



B

Fig. 58.

A. Pupillogramm am liegenden Patienten. T ist ein Untersuchungsbett, das durch die Kurbel K zum Heben und Senken eingerichtet ist. Die Film-

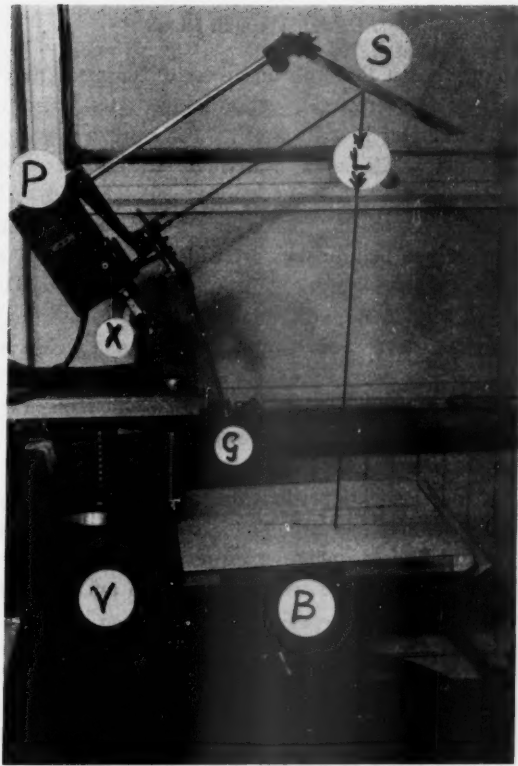


Fig. 59.

Mikroprojektor zum Einmessen der Filme. B ist ein schwenkbarer Projektionstisch. V ist ein vertikal verstellbares Stativ für den Projektor (P), der um eine Achse bei X schwenkbar ist und dessen Licht gegen den Spiegel S so reflektiert wird, dass der Lichtweg L resultiert. G ist ein Griff für die Vorwärtsbewegung des Filmes und ist so gebaut, dass jedes Mal nur ein Bild bequem vorgeschoben wird.

kamera (F) bildet die Augen des Patienten so ab, wie dieselben im Winkelspiegel (V) nebeneinander zu sehen sind (siehe Fig. 58 B).

B. Das Bild zeigt den Patienten auf dem Untersuchungsbett von dem Kopfende gesehen. Man sieht die beiden Augen der Versuchsperson nebeneinander im Winkelspiegel, V, abgebildet. Der Winkel zwischen den beiden Spiegelhälften (A und B) ist für verschiedene Augenabstände verstellbar.

AUSMESSEN DER FILME

Die Filme werden dadurch ausgewertet, dass sie durch einen Mikroprojektor (»Mikrovist«), der auf einem Spezialstativ angebracht ist, auf einen Messtisch (Fig. 60) projiziert werden. Die Abbildungsskala wird durch Stativhöhe so bemessen, dass die absolute Pupillenvergrößerung genau zehnfach ist. Als Hilfe dienen dabei die ersten Bilder mit Nummerschildchen. Der Durchmesser eines Schildchens ist exakt 8,5 mm und soll also mit 85 mm abgebildet werden. Die Apparatur hat zwei Objektive, F 50 mm und F 38 mm (Standard beim Apparat), und eigens bestellte Proxarzusätze von zwei Plus-Gläsern, so dass ein Vergrößerungsbereich (vom Filme gerechnet) zwischen 5 und $40\times$ benutzt werden kann. Durch die veränderliche Höhe des Stativs kann bei jeder Abbildungsgrösse am Film die gewünschte absolute Augenvergrößerung exakt eingestellt werden.

Der Tisch der Projektionsvorrichtung macht die ungewöhnliche aber vorteilhafte Position mit geneigtem Projektor möglich. Der Tisch kann die Projektorneigung durch Schwenkung bis zur korrekten Abbildung kompensieren. Das Messen am vorwärtsgeneigten Tische ist vorteilhaft.

Eine relative Freiheit von störendem Licht ist beim Einmessen erforderlich. Es ist auch vorteilhaft, wenn eine Person die Bilder der Reihe nach misst und eine andere die Werte tabellarisch aufschreibt. Bei einiger Übung ist es schliesslich möglich, die Kurven direkt zu zeichnen. Der Helfer hat eine abgeschirmte, lokale Arbeitsbeleuchtung. Die Genauigkeit des Verfahrens beträgt $\pm 0,25$ mm am Messtisch nur wenn das Bildmaterial optimal scharf ist, sonst $\pm 0,5$. Das bedeutet also eine absolute Messgenauigkeit des Pupillendurchmessers von $\pm 0,025$ bzw. $\pm 0,05$. Gemessen wird mit einer durchsichtigen Skala, deren Linien mit der Stichel eingraviert sind und also fein und scharf hervortreten. Das Profil des Lineals muss sich einseitig auf die gradierte Seite hin bis zu fast nichts verdünnen, damit paralaxfrei gemessen werden kann. Der 0-Punkt soll mit dem Linealansatz zusammenfallen und das Ende abgerundet sein, damit die richtige äquatoriale Lage des Lineals schnell und sicher gefunden werden kann (Fig. 60).

Mess
Q
 Pa
lich
mäss
eines
App
führ
Meth
meth
punk
legen
Bildv
QUIST
schei
bewä

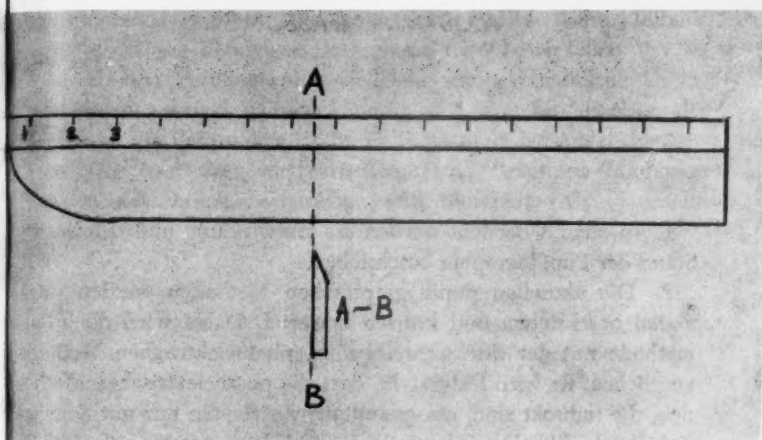


Fig. 60.

Messlineal. Das Bild zeigt die Abrundung des O-Endes und den verjüngten Querschnitt des Messlineals, der durchsichtig aus Plexiglas hergestellt ist.

WEITERE MÖGLICHKEITEN

Prinzipiell und technisch besteht in hohem Masse die Möglichkeit, die Auswertung der Filme durch Zuhilfenahme gleichmässig verteilten Lichtes, einer Photozelle, eines Verstärkers und eines schreibenden Galvanometers maschinell vorzunehmen. Die Apparatur wäre jedoch teuer. Sie wird deshalb erst dann eingeführt werden können, wenn durch einfachere und mühevollere Methoden der Wert der pupillographischen Untersuchungsmethode eindeutig dokumentiert worden ist. Ähnliche Gesichtspunkte muss man für die direktanschreibende Pupillographie anlegen. Diese Methode könnte heute unter Zuhilfenahme einer Bildwandlerröhre mit elektronenoptischer Vergrößerung (TÖRNQUIST) zu einem vorzüglichen Geräte zusammengebaut werden, scheint aber noch nicht genügend motiviert zu sein, um die Kosten bewältigen zu können.

ZUSAMMENFASSUNG

1. In einer Übersicht werden die Entwicklung und der jetzige Stand der Pupillographie beschrieben.

2. Die aktuellen pupillographischen Methoden werden prinzipiell beschrieben und kritisch bewertet. Dabei wird die Filmmethode mit der direktschreibenden, photoelektrischen Methode verglichen. Es wird festgestellt, dass die photoelektrischen Methoden, die indirekt sind, ein quantitatives Arbeiten nur mit Schwierigkeit erlauben. Die Filmmethode wird deswegen bis auf weiteres bevorzugt.

3. Eine neuartige Filmmethode, die es ermöglicht, gleichzeitig beide Pupillen nebeneinander auf einem 16 mm Film in der Skala 1:2,3 abzubilden, wird beschrieben. Als Photolicht wird dabei Infrarot verwendet, als Reizlicht ein synchronisierter Elektronenblitz.

4. Mit der vom Verf. ausgearbeiteten Methode ist der Pupillenreflex auf Licht an 300 gesunden Personen untersucht worden. Das hierbei erhaltene Material wurde zur Konstruktion von Pupillogrammen unter Verwendung einer Normalschablone, die 4 Sek. Versuchszeit umfasst, benutzt.

5. Die Pupillogramme zeigten eine Reihe charakteristischer Erscheinungen, von denen einige für Messungen geeignet schienen. Diese wurden geprüft und die Resultate der Messungen in der Form von Frequenzkurven dargestellt.

6. Das Ergebnis stützt die Behauptung von O. LÖWENSTEIN, dass vier Haupttypen der Lichtreaktion unterschieden werden können. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass die Konstanz der Pupillogramme bei gleichen äusseren Bedingungen bei verschiedenen Personen verschieden ist. Einige zeigen eine gute Konstanz, während andere ein veränderliches Pupillogramm aufweisen.

7. Als neues Messgebiet werden Konzentritätsdiagramme des

Pupillenrandes während der Kontraktion geprüft. Eine Methode zur Herstellung derartiger Diagramme wird beschrieben.

8. Da die Pupillographie vielleicht für psychiatrische Untersuchungen wertvoll werden könnte, wird eine Modifikation der Methode, die für psychiatrische Fälle geeignet ist, angegeben.

9. Die vom Verf. ausgearbeiteten und benutzten Methoden werden ausführlich beschrieben und illustriert (Abt. Spezielle Technik).

LITERATUR

- BACH, L., Pupillenlehre. Berlin, Karger. 1908.
- BEHR, C., Die Lehre von den Pupillenbewegungen. Berlin, Springer. 1924.
- BEILIN, B. J., Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1934. 93. 563.
- BELLARMINOFF, L., Pflügers Arch. ges. Physiol. 1885. 37. 107.
- BUMKE, Die Pupillenstörungen etc. Jena, Fischer. 1904.
- CÜPPERS, C., Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1951. 119. 411.
 — v. Graefes Arch. Ophthalm. 1954. 155. 588.
- FRANCESCHETTI, A. & BOROSOTTI, I., Riv. Oto-Neuro-Ophthalm. 1939. 16.
- FRIBERGER, R., Om mätning av pupillens vidd. Diss. Uppsala 1903.
- GARTEN, S., Pflügers Arch. ges. Physiol. 1897. 68. 68.
- GRAEDEL, H. S. & ACKERMANN, W., J. Amer. Med. Ass. 1932. 1334.
- GRAEDEL, H. S. & EISENDRACHT, E., Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1923. 71. 311.
- GRANT, A. & MOTE, F. A., J. exp. Physiol. 1949. 39. 610.
- GÖTHLIN, G. F., Kgl. Svenska Vet. Akad. Handl. 1917. 58.
- HELMHOLTZ, H. v., Handb. d. Physiol. Optik. Berlin u. Leipzig 1896.
- HIRSCHBERG, zit. Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Augenheilk. Bd. 12. Kap. 23. 1899.
- LÖWENSTEIN, O., Mschr. Psychiatr. u. Neurol. 1920. 47. 194.
 — Experimentelle Hysterielehre. Bonn, Cohen. 1923.
 — Zbl. ges. Neurol. u. Psychiatr. 1926. 45. 300.
 — Mschr. Psychiatr. u. Neurol. 1927. 66. 126.
 — Ibid. 1927. 66. 148.
 — Arch. Psychiatr. 1927. 82. 285.
- LÖWENSTEIN, O. & WESTPHAL, A., Ibid. 1927. 82. 315.
- LÖWENSTEIN, O., Mschr. Psychiatr. u. Neurol. 1929. 68. 36.
- LÖWENSTEIN, O. & WESTPHAL, A., Experimentelle und klinische Studien zur Physiologie und Pathologie der Pupillenbewegungen etc. Berlin, Karger. 1933. (Abhandl. aus d. Neurol., Psychol. u. ihren Grenzgeb. 70.)
- LÖWENSTEIN, O., Die Störungen der Pupille bei denluetischen Erkrankungen des Zentralnervensystems. Basel, Schwabe & Co. 1935.
 — Der psychische Restitutionsseffekt. Basel, Schwabe & Co. 1937.
 — Les troubles du réflexe pupillaire à la lumière dans les affections syphilitiques du système nerveux central. Paris, Douin & Cie. 1939.
 — Arch. Neurol. & Psychiatr. 1940. 44. 227.
- LÖWENSTEIN, O. & FRIEDMAN, E. D., Arch. Ophthalm. 1942. 27. 969.
- LÖWENSTEIN, O. & GIVNER, I., Ibid. 1942. 28. 821.
 — Ibid. 1943. 30. 603.
- LÖWENSTEIN, O. & LEVINE, S., Ibid. 1944. 31. 74.
- LÖWENSTEIN, O. & SCHOENBERG, M. J., Ibid. 1944. 31. 384.
 — Ibid. 1944. 31. 392.
- LÖWENSTEIN, O., Mschr. Psychiatr. u. Neurol. 1949. 117. 294.

- LÖWENSTEIN, O. & LOEWENFELD, I. E., Arch. Neurol. & Psychiatr. 1950. 51. 324.
 — Ibid. 1950. 64. 313.
 LÖWENSTEIN, O., Ibid. 1951. 46. 513.
 LÖWENSTEIN, O. & LOEWENFELD, I. E., Ibid. 1951. 66. 580.
 — J. Nerv. & Ment. Dis. 1952. 115. 1 & 121.
 LÖWENSTEIN, O. MURPHY, S. B. & LOEWENFELD, I. E., Arch. Ophthalm. 1953. 49. 656.
 LÖWENSTEIN, O. & LOEWENFELD, I. E., Ibid. 1953. 50. 311.
 LÖWENSTEIN, O., Arch. Ophthalm. 1954. 52. 385.
 — Arch. Neurol. & Psychiatr. 1954. 72. 742.
 — Ibid. 1955. 73. 302.
 — Ann. d'oculist. 1955. Fasc. 11. 188.
 LÖWENSTEIN, O. & SALLMAN, L. v., Am. J. Ophthalm. 1955. 39. II.
 LÖWENSTEIN, O., Neurology. 1955. 5.
 MACHMER, H., Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1933. 91. 302.
 — Ibid. 1935. 94. 305.
 — Ibid. 1941. 106. 385.
 MALTHESOS, C. & GUTMAN, H., Ber. ges. Physiol. 1936. 96. 679.
 MALTHESOS, C., Pflügers Arch. ges. Physiol. 1939. 241. 129.
 MATTES, H. & K., BRUNN, W. & FALK, R., Ibid. 1941. 244. 644.
 SPRING, K. H. & STILES, W. A., Brit. J. Ophthalm. 1949. 32. 340.
 TÖRNQUIST, R., Acta Ophthalm. 1955. 33. 551.
 WEILER, K., Zeitschr. f. d. ges. Neurol. u. Psych. 1910. 2. 101.
 WIDMARK, E. M. P., Svenska Läkartidn. 1930. 22.
 — Kgl. Fysiogr. Sällsk. i Lund Förhandl. 1936. 6.

LITERATUR ÜBER INFRAROTPHOTOGRAPHIE

- CLARKS, W., Photography by infrared. New York, Wiley & Sons. 1945.
 LAWRENCE, A. S. C., The scientific photographer. Cambridge, Univ. Press. 1941.
 LECOMTE, J., Le rayonnement infrarouge. Paris, Gautier Villars. 1948.
 HELWICH, O., Die Infrarot-Fotografie. Harzburg, W. Hering. 1937.



